

PEKKA IIKKANEN

## Rautatieliikenteen kustannusmallit





Pekka Iikkanen

# Rautatieliikenteen kustannusmallit

Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 15/2013

Liikennevirasto

Helsinki 2013

*Kannen kuva: Markku Nummelin*

Verkkojulkaisu pdf ([www.liikennevirasto.fi](http://www.liikennevirasto.fi))

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-255-283-9

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 020 637 373



**Pekka Iikkanen: Rautatieliikenteen kustannusmallit.** Liikennevirasto, liikennesuunnittelu-osasto. Helsinki 2013. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 15/2013. 53 sivua ja 1 liite. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-283-9.

**Avainsanat:** rautatieliikenne, liikennöinti, kustannusmallit, energiankulutus

## Tiivistelmä

Henkilö- ja tavarajunien liikennöintikustannukset on jaettu mallien muodostamista varten matka-ajasta ja matkan pituudesta riippuviin kustannuksiin sekä yleiskustannuksiin. Matka-ajasta riippuvia kustannuksia ovat kaluston pääomakustannukset, junahenkilöstön työvoimakustannukset ja henkilöliikenteessä myös junien käyttövalmiushuollon kustannukset. Matkan pituudesta riippuvia kustannuksia ovat energiakustannukset sekä kaluston kunnossapidon ja korjauksen kustannukset. Yleiskustannuksia ovat hallinnon, suunnittelun, lipunmyynnin yms. kustannukset.

Henkilöliikenteessä yksikkökustannukset on määritetty junatyypeittäin junan perusyksikköä ja lisäyksikköä kohti. Junatyyppejä ovat IC-junat (sähköveturi- ja dieselveturivetoinen juna eriteltynä), kotimaan nopeat junat, Venäjän nopeat junat, taajamajunat (sähkömoottorivaunukalusto ja kiskobussi eriteltynä) sekä lähiliikennejuna. Perusyksiköllä tarkoitetaan moottorivaunuliikenteessä yhtä kiinteän kokonaisuuden muodostamaa junayksikköä eli junarunkoa. Veturivetoisessa henkilöliikenteessä perusyksikkö muodostuu veturista ja kolmesta kaksikerroksisesta matkustajavaunusta. Tavaraliikenteessä yksikkökustannukset on jaettu veturia (sähköveturi ja dieselveturi eriteltynä), lisäveturia ja vaunua kohti. Dieselvetureiden kustannukset määritettiin erikseen keskiraskaalle ja kahdelle raskaalle eri tehoiselle raskaalle veturille.

Energiakustannusten määrittämistä varten simuloitiin henkilö- ja tavarajunien energiankulutusta. Simuloinneissa tarkasteltiin junan nopeuden, massan, henkilöjunien liikennepaikkatiheyden ja tavarajunien ei-kaupallisten pysähdysten vaikutuksia energiankulutukseen. Simulointien tuloksista laadittiin energiankulutusmallit, joita voidaan hyödyntää yksityiskohtaisessa junien energiankulutuksen arvioinnissa ja päästömärien laskennassa. Sähkövetureiden energiankulutusmallien luotettavuus varmistettiin Liikenneviraston tekemien mittausten ja lähiliikennejunan energiankulutusmallin luotettavuus kaluston valmistajan Suomessa tekemien mittausten perusteella. Selvityksissä havaittiin, että sähkövetureiden vetämien tavarajunien energiankulutus on jopa moninkertainen aikaisemmin Suomessa julkaistuihin energiankulustietoihin (esim. LIPASTO) nähden.

Liikennöintikustannusmallien yksikkökustannuksiin sisältyvät suurimmat epävarmuudet koskevat kaluston kunnossapidon ja korjauksen kustannuksia sekä henkilöjunien käyttövalmiushuollon kustannuksia. Nämä kustannukset on arvioitu kokonaan ulkomaisiin selvityksiin perustuen.

Laaditut mallit soveltuvat erilaisten ratainvestointien vaikutusten arviointiin. Mallien avulla voidaan arvioida esimerkiksi ratojen nopeustason noston, ratojen sähköistykseen sekä tavarajunien suurimman sallitun akselipainon noston, ei-kaupallisten pysähdysten ja junapituuden kasvattamisen vaikutuksia liikennöintikustannuksiin. Selvityksessä on esitetty yksityiskohtaisia esimerkkejä mallien käytöstä tällaisissa hankkeissa.

**Pekka Iikkanen: Kostnadsmodeller för järnvägstrafik.** Trafikverket, trafikplanering. Helsingfors 2013. Trafikverkets undersökningar och utredningar 15/2013. 53 sidor och 1 bilaga. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-283-9.

## Sammanfattning

För att skapa kostnadsmodeller har trafikeringskostnaderna för person- och godståg indelats i kostnader enligt restid och resans längd samt i allmänna kostnader. Kostnader som beror på restiden består av kapitalkostnader för materiel, arbetskraftskostnader för tågpersonal och i persontrafiken också av kostnader för service för att hålla tågen användningsklara. Kostnader som beror på resans längd består av energikostnader samt kostnader för underhåll och reparation av materiel. De allmänna kostnaderna består av administrations-, planerings-, biljettförsäljnings- m.fl. kostnader.

I persontrafiken har enhetskostnaderna definierats utgående från tågtyp enligt tågets basenhet och tilläggsenhet. Tågtyperna består av IC-tåg (el- och diesellokdrivna tåg specificerade), inhemska snabbtåg, snabbtåg till Ryssland, tätortståg (elmotorvagnsmateriel och rälsbuss specificerade) samt tåg i närtrafik. Med basenhet avses i motorvagnstrafik ett tågsätt, det vill säga vagngrupp som bildar en fast helhet. I den lokdrivna persontrafiken består en basenhet av loket och tre tvåvånings passagerarvagnar. I godstrafiken har enhetskostnaderna fördelats enligt lok (el- och diesellok specificerade), extralok och vagn. Kostnaderna för diesellok definierades skilt för medeltunga och två tunga lok av olika effekt.

För att bestämma energikostnaderna simulerades person- och godstågens energiförbrukning. I simuleringarna granskades hur tågets hastighet och massa, personstågens trafikplatstäthet och godstågens icke-kommersiella stopp inverkar på energiförbrukningen. Av resultaten av simuleringarna gjordes energiförbrukningsmodeller som kan utnyttjas i den detaljerade uppskattningen av tågens energiförbrukning och beräkningen av utsläppsmängderna. Tillförlitligheten för ellokenas energiförbrukningsmodeller säkerställdes på basis av Trafikverkets mätningar, och tillförlitligheten för närtågens energiförbrukningsmodell på basis av de mätningar som tillverkaren gjort i Finland. Utredningarna visade att energiförbrukningen för ellokdrivna godståg var till och med mångfaldig jämfört med de tidigare i Finland publicerade energiförbrukningsuppgifter som man har haft tillgång till (t.ex. LIPASTO).

De största osäkerhetsmomenten som ingår i enhetskostnaderna för modellerna för trafikeringskostnaderna gäller kostnaderna för underhåll och reparation av materielen samt kostnaderna för servicen för att hålla persontågen användningsklara. Dessa kostnader har uppskattats helt och hållet på basis av utredningar utomlands.

De utarbetade modellerna lämpar sig för att uppskatta effekterna av olika slags baninvesteringar. Med hjälp av modellerna kan man uppskatta hur till exempel en höjning av hastighetsnivån, elektrifiering av järnvägarna, en ökning av godstågens högsta tillåtna axeltryck, icke-kommersiella stopp och en ökning av tåglängden inverkar på trafikeringskostnaderna. I utredningen framställs detaljerade exempel på användningen av modeller i dylika projekt.

**Pekka Iikkanen: Railway traffic operating cost models in Finland.** Finnish Transport Agency, Transport Planning. Helsinki 2013. Research reports of the Finnish Transport Agency 15/2013. 53 pages and 1 appendix. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-283-9.

## Summary

For the purpose of model construction, the operating costs of passenger and freight trains have been categorised as costs dependent on travel time and length of journey, and overhead costs. Costs dependent on travel time include capital costs related to rolling stock, the labour costs of train personnel and, in passenger traffic, train maintenance costs. Costs dependent on length of journey include energy costs and costs incurred from the maintenance and repair of rolling stock. Overhead costs comprise the costs of administration, planning, ticket sales, etc.

In passenger traffic, unit costs have been determined for basic train units and additional train units, by train type. Train types include IC trains (differentiated into electric locomotive and diesel locomotive trains), domestic express trains, express trains to Russia, commuter trains (differentiated into rolling stock pulled by electric motor coaches and rail cars) and regional trains. In motor coach traffic, a basic unit refers to a single train unit, or train frame, composed of a single fixed unit. In locomotive-pulled passenger traffic, a basic unit consists of a locomotive and three two-storey passenger carriages. In freight traffic, unit costs are calculated for a locomotive (differentiated into electric locomotives and diesel locomotives), additional locomotive and carriage. The costs of diesel locomotives were determined separately for medium-heavy locomotives and two classes of heavy locomotives.

The energy consumption of passenger and freight trains was simulated in order to determine energy costs. These simulations examined the energy-consumption effects of a train's speed and mass, as well as the operating station density for passenger trains and non-commercial stops for freight trains. Energy-consumption models were drawn up on the basis of the simulations. These models enable an accurate assessment of the energy consumption of trains and the calculation of emissions. The reliability of the energy-consumption models created for electric locomotives was confirmed by measurements carried out by the Finnish Transport Agency, and the reliability of the commuter train energy-consumption model by measurements carried out in Finland by the rolling stock manufacturer. These studies showed that the energy consumption of freight trains pulled by electric locomotives is several times that cited in the energy-consumption reports (e.g. LIPASTO) previously published in Finland.

The greatest uncertainties regarding unit costs in operating cost models relate to the maintenance and repair costs of rolling stock, as well as train maintenance costs in passenger traffic. These costs have been evaluated solely on the basis of international studies.

The created models are suitable for evaluating the impact of different infrastructure investments. They enable the evaluation of how operating costs will be affected by, for example, raising the average speed on lines, electrifying lines, increasing the largest permitted axle weight for freight trains, increasing the number of non-commercial stops or increasing train length. Detailed examples of model use in such projects are presented in the study.

## Esipuhe

Rautatieliikenteen kustannusmalleja käytetään ratainvestointien liikennöintikustannusvaikutusten arvioinnissa sekä erilaisten liikennejärjestelmätasojen hankkeiden vaihtoehtojen vertailussa. Liikennöintikustannusmallit on määritetty nyt ensimmäistä kertaa sekä henkilö- että tavaraliikenteen junille. Tarkoitus on, että mallien yksikköarvoja päivitetään noin viiden vuoden välein, jolloin tehdään tarvittavat indeksikorjaukset ja määrittämismenetelmien tarkistukset.

Tämä selvitys toimii ratainvestointien hankearviointiohjeen taustaraippottina. Liikennöintikustannukset ovat osa ratainvestointien kannattavuuslaskelmissa tarkasteltavia kustannuksia. Näillä on erityisesti tavaraliikennettä palvelevissa hankkeissa merkittävä vaikutus hankkeen kannattavuutta osoittavaan hyöty-kustannussuhteeseen.

Selvityksen ohjausryhmään kuuluivat Harri Lahelma (pj), Anton Goebel, Taneli Antikainen, Juha Haapakoski, Juha Kröger, Jukka Valjakka ja Timo Völke Liikennevirastosta.

Selvityksen projektipäällikkönä toimi Pekka Iikkanen Ramboll Finland Oy:stä, jossa työhön osallistui myös Ilpo Rajapuro. Junien energiankulutuksen simuloinneista vastasi Olavi H. Koskinen Liikennevirastosta. Selvityksen aikana haastateltiin Hannu Lehtikoista Proxion Oy:stä ja Tero Kososta VR Transpointilta rautatieliikenteen kustannuksiin liittyvistä kysymyksistä.

Helsingissä huhtikuussa 2013

Liikennevirasto  
Liikennesuunnitteluosasto

# Sisällysluettelo

1	JOHDANTO .....	8
2	HENKILÖJUNIEN KUSTANNUKSET JA MALLIT .....	9
2.1	Junatyypit .....	9
2.2	Tyypikalusto.....	9
2.2.1	Veturit .....	9
2.2.2	Moottorivaunukalusto .....	10
2.2.3	Matkustajavaunut.....	10
2.3	Kustannusmallin rakenne .....	11
2.4	Aikaperusteiset kustannukset.....	12
2.4.1	Pääomakustannukset .....	12
2.4.2	Työvoimakustannukset .....	13
2.4.3	Käyttövalmiushuollon kustannukset .....	14
2.5	Matkaperusteiset kustannukset.....	15
2.5.1	Energiakustannukset.....	15
2.5.2	Kunnossapito- ja korjauskustannukset.....	21
2.5.3	Yleiskustannukset .....	23
2.6	Kustannusmallit.....	24
2.6.1	Kustannukset ilman veroja ja maksuja.....	24
2.6.2	Henkilöjunaliikenteen verot ja maksut.....	24
3	TAVARAJUNIEN KUSTANNUKSET JA MALLIT .....	26
3.1	Junatyypit .....	26
3.2	Tyypikalusto.....	26
3.2.1	Veturit .....	26
3.2.2	Tavaravaunut .....	27
3.2.3	Kustannusmallin rakenne.....	27
3.3	Aikaperusteiset kustannukset.....	28
3.3.1	Pääomakustannukset .....	28
3.3.2	Työvoimakustannukset .....	29
3.4	Matkaperusteiset kustannukset.....	29
3.4.1	Energiakustannukset.....	29
3.4.2	Kunnossapito- ja korjauskustannukset.....	35
3.4.3	Vaihtotyön kustannukset .....	35
3.4.4	Yleiskustannukset .....	37
3.5	Kustannusmallit.....	37
3.5.1	Kustannukset ilman veroja ja maksuja.....	37
3.5.2	Tavarajunaliikenteen verot ja maksut .....	38
4	MALLIEN KÄYTTÖ .....	40
4.1	Henkilöliikenne .....	40
4.1.1	Tarvittavat lähtötiedot .....	40
4.1.2	Esimerkkejä mallien käytöstä .....	41
4.2	Tavaraliikenne .....	43
4.2.1	Junatarjonnan määrittäminen .....	43
4.2.2	Esimerkkejä mallien käytöstä .....	44
5	MALLIEN ARVIOINTIA JA POHDINTAA.....	50
6	LÄHDELUETTELO .....	52

# 1 Johdanto

Rautatieliikenteen kustannusmallien tärkein käyttöalue on ratainvestointien hanke-arviointi, jossa arvioidaan erilaisten ratalinjalla toteuttavien investointien vaikutuksia rautatieliikenteen liikennöintikustannuksiin. Arvioita liikennöintikustannusten muutoksista käytetään tällöin hankkeen vaikuttavuuden arvioinnissa ja kannattavuuslaskelmissa.

Kustannusmalleja tarvitaan myös liikennejärjestelmätasoisien hankkeiden arviointiin kuten esimerkiksi arvioitaessa kaupunkiratojen merkitystä joukkoliikenteen käyttökustannuksiin tai erilaisten kuljetusreittivaihtoehtojen merkitystä yritysten kuljetustalouteen. Tarkasteltaessa koko kuljetusketjun kustannuksia rautatiekuljetusten kustannuksiin sisältyvät myös ratapihoilla tapahtuvan vaihtotyön kustannukset.

Suomessa ei ole käytettävissä yleisesti hyväksyttyjä malleja, joilla voitaisiin luotettavasti arvioida henkilö- ja tavarajunaliikenteen ominaisuuksien vaikutuksia liikennöintikustannuksiin. Laskelmat ovat perustuneet karkeisiin liikennöitsijöiltä saatuihin arvioihin tai tilastojen perusteella määritettyihin keskimääräisiin yksikkökustannuksiin (esimerkiksi €/junakilometri tai €/tkm). Tällaiset yksikkökustannukset eivät sovellu sellaisten hankkeiden arviointeihin, joiden seurauksena esimerkiksi henkilö- tai tavarajunan matkaan kuluva aika tai junan käyttämä energialaji muuttuu. Tämän puutteen vuoksi Suomessa on myös käytetty myös Ruotsin Trafikverketin liikennöintikustannusmalleja, jotka on kehitetty ratainvestointien vaikutusten arvioinnin tarpeisiin.

Tämän selvityksen tavoitteena on laatia henkilöjunille ja tavarajunille liikennöintikustannusmallit, jotka ottavat huomioon erilaiset junatyypit, Suomessa tulevaisuudessa käytettävän kaluston ominaisuudet sekä kustannuksiin vaikuttavat muut junaliikenteen tyypilliset ominaisuudet. Tarkasteltavia kustannustekijöitä ovat mm. kaluston pääoma- ja kunnossapitokustannukset, junahenkilöstön työvoimakustannukset ja junien energiakustannukset sekä hallinnosta ja suunnittelusta ja matkalippujen myynnistä aiheutuvat yleiskustannukset.

Rautatieyritykset pitävät yksityiskohtaisia liikennöintikustannuksiin vaikuttavia tietoja liikesalaisuutena. Tämän vuoksi selvitys perustui Suomen rautatieliikennettä koskevien tilastotietojen, julkisesti saatavilla olleiden hinta- ja palkkatietojen (mm. kaluston ja energian hinnat sekä junahenkilöstön palkat), junien energiankulutuksen simulointien ja ulkomaisissa lähteissä esitettyjen yksikkökustannusten soveltamiseen Suomessa. Lisäksi hyödynnettiin haastatteluihin perustuvia tietoja sekä selvityksen ohjausryhmän ja konsultin asiantuntija-arvioita.

## 2 Henkilöjunien kustannukset ja mallit

### 2.1 Junatyypit

Henkilöjunaliikenne jaetaan yksikkökustannusten määrittämistä varten seuraaviin liikennelajeihin:

- **InterCity-junat eli IC-junat**, jotka liikennöivät pitkillä valtakunnan eri osien välisillä reiteillä ja pysähtyvät vain suurissa taajamissa ja vakioaikataulun mukaisilla risteyspaikoilla. IC-junat muodostuvat sähkö- tai dieselveturilla vedettävästä junasta, jossa on vähintään kolme matkustajavaunua.
- **Nopeat junat**, jotka liikennöivät IC-junien tapaan kotimaan pitkillä yhteysväleillä ja myös kansainvälisillä reiteillä (nykyään Helsingin ja Pietarin välillä). Nopeat junat ovat kallistuvakorisia sähkömoottorijunia.
- **Taajamajunalla** tarkoitetaan junatyyppiä, joka kulkee tiettyjen suurten asutuskeskusten välillä ja pysähtyy kaikilla tai lähes kaikilla niillä väliasemilla, jotka sijaitsevat enimmäkseen taajamissa. Sähköistetyllä rataverkolla käytettävät taajajunat ovat sähkömoottorijunia ja sähköistämättömällä rataverkolla kiskobusseja.
- **Lähiliikennejunat** ovat kaupunkiseutujen sisäistä liikennettä (esim. pääkaupunkiseutua) palvelevia junia, jotka pysähtyvät kaikilla tai lähes kaikilla väliasemilla. Käytettävät junat ovat sähkömoottorijunia.

### 2.2 Tyypikalusto

#### 2.2.1 Veturit

Suomessa käytetään samoja sähkövetureita ja dieselvetureita henkilöjunien ja tavarajunien vetämisessä. Nykyisin Suomessa käytettävät sähköveturit ovat 1970-luvulla käyttöön otettu ns. Sr1-veturisarja ja vuosina 1995–2003 käyttöön otettu Lok 2000-veturisarja, josta käytetään nimitystä Sr2. Yksikkökustannusten määrittämisessä käytettäväksi sähköveturityypiksi valittiin Sr2, koska veturisarja on käytössä vielä pitkään toisin kuin pian jo käyttöikänsä päähän tulevat Sr1-veturit.

Suomessa on 223 dieselveturia, joista 181 on tyyppiä Dv12 (teho on 1000 kW), 24 tyyppiä Dr14 (teho on 875 kW) ja 18 tyyppiä Dr16 (teho 1500 kW) (Liikennevirasto 2012a). Dv12 -veturit on valmistettu suurimmaksi osaksi 1960–1970 -luvuilla (viimeinen vuonna 1984), Dr14-veturit valmistettiin vuosina 1970–1972 ja Dr16-veturit vuosina 1985–1992. Suurin osa Suomen dieselvetureista on yli 40 vuotta vanhoja ja niiden käyttöikä on jatkettu peruskorjauksin. Kaluston vanhentuneisuuden vuoksi VR Group suunnittelee uuden dieselkaluston hankintaa. Myös uudet operaattorit voivat tuoda liikenteeseen uutta kalustoa. Tulevaisuudessa käytettävien dieselveturien tehot ovat riippuvaisia niiden käyttötarkoituksesta. Koska suurin käyttö tulee olemaan tavaraliikenteessä, on todennäköistä että suuri osa kalustosta tulee olemaan selvästi nykyistä tehokkaampaa. Henkilöjunaliikenteessä tarvittava dieselveturin teho



ei yleensä ole suuri, veturilla vedetään tyypillisesti 2–3 vaunun mittaisia junia ja sähköistämättömillä rataosilla sallittava maksiminopeus on 60–120 km/h.

### Tyypiveturien ominaisuudet

Sähköveturin vetämän henkilöjunan kustannusmallissa tyypiveturina on Sr2, jonka maksimiteho on 6100 kW ja paino 83 tonnia. Dieselkaluston osalta tyypiveturin on keskiraskas veturi, jonka teho on 1000 kW ja paino 65 tonnia.

### 2.2.2 Moottorivaunukalusto

**Sähkömoottorijunat** ovat moottorivaunuista ja niiden liitevaunuista muodostuvia junia, jotka on tarkoitettu liikennöimään kiinteästi toisiinsa kytkettyinä. Junayksiköitä voidaan yleensä kytkeä yhteen kaksi tai useampia, ajosuuntaan etumaisesta ohjaimosta ajettavaksi junaksi. Käytettävät tyypijunat ovat:

- Lähiliikenteen sähkömoottorijunan tyypikalustona käytetään Stadler Bussnang AG:n valmistamaa Flirt-junaa. Junayksikkö muodostuu neljästä vaunusta ja junayksikössä on 260 istumapaikkaa. Sähkömoottorijunan kokonaispaino käyttökunnossa on 132 tonnia, junan maksimiteho pyörän kehällä on 2600 kW (jatkuva teho 2000 kW), maksiminopeus 160 km/h, kiihtyvyys  $1,2 \text{ m/s}^2$  ja hidastuvuus  $1,7 \text{ m/s}^2$ . Yksikön päissä olevat vaunut ovat moottorivaunuja, joiden etupäät ovat vetäviä (TÜV SÜD GmbH).
- Taajamajunaliikenteen sähkömoottorijunan tyypikalustona käytetään Alstomin valmistamaa Coradia-junaa, josta Suomessa käytetään nimitystä Sm4. Junayksikkö muodostuu kahdesta vaunusta. Junayksikön kokonaispaino on 107 tonnia, junayksikössä on 184 istumapaikkaa. Junayksikön jatkuva teho on 1200 kW ja junayksikön maksiminopeus 160 km/h (Alstom, 2010)
- Nopean junaliikenteen tyypikalustona käytetään Suomen sisäisessä liikenteessä Fiat Ferroviarian (nykyisin Alstom) valmistamaa Pendolino-junaa, josta Suomessa käytetään nimitystä Sm3. Junayksikkö muodostuu kuudesta, kiinteästi toisiinsa kytketystä vaunusta, joista viisi on matkustajavaunua ja yksi ravintolavaunu. Junan kori on kallistuva. Junayksikön kokonaisapaino on 328 tonnia ja yksikössä on 262 istumapaikkaa. Junayksikön kokonaisteho on 4000 kW ja sen suurin liikennöintinopeus Suomessa on 220 km/h (Alstom, 2010). Suomen ja Venäjän välisessä kansainvälisessä liikenteessä käytettävä kalusto on myös Alstomin valmistama Pendolino Allegro, jossa on seitsemän vaunua ja 348 istumapaikkaa. Junan kokonaisteho on 5500 kW ja paino 423 tonnia (Alstom, Karelian Trains, VR).

**Kiskobussit** ovat dieselmoottorikäyttöisiä moottorijunia. Taajamaliikenteen yksikkökustannusten määrittämisessä käytettävä kalusto on CKD Vakongan valmistama dieselmoottorivaunu, josta Suomessa käytetään nimitystä Dm12. Vaunussa on 63 istumapaikkaa. Kiskobussin kokonaispaino on 54,5 tonnia ja kokonaisteho 603 kW. Kiskobussin maksiminopeus on 120 km/h (Hovi, 2012).

### 2.2.3 Matkustajavaunut

Veturivetoisten IC-junien vaunut ovat kaksikerroksisia Intercity-vaunuja, joissa on 113 istumapaikkaa. Vaunujen taarapaino on 51 tonnia (VR). Vaunujen kokonaispaino keskimääräisellä noin 60 %:n kuormitusasteella on noin 58 tonnia.

## 2.3 Kustannusmallin rakenne

Henkilöjunien liikennöintikustannukset jaetaan kustannusmallin muodostamista varten matka-ajasta riippuviin kustannuksiin, matkan pituudesta riippuviin kustannuksiin sekä yleiskustannuksiin.

Matka-ajasta riippuvaisia kustannuksia ovat:

- kaluston pääomakustannukset, jotka muodostuvat kaluston hankintahinnasta ja hankinnan koroista,
- junahenkilöstön (veturinkuljettajat ja konduktöörit) työvoimakustannukset, jotka muodostuvat palkkakustannuksista henkilösivukustannuksineen sekä työhön liittyvistä kuluista kuten majoitus- ja matkakustannuksista,
- junien käyttövalmiushuollon kustannukset, joilla tarkoitetaan kaluston pesun, siivoamisen, vessojen tyhjennysten, vesisäiliöiden täydentämisen yms. kustannuksia.

Matkan pituudesta riippuvaisia kustannuksia ovat:

- vetureiden ja moottorivaunukaluston käyttämän energian kustannukset
- kaluston kunnossapidon ja korjauksen kustannukset.

Yleiskustannuksia ovat mm.:

- hallintokustannukset
- suunnittelukustannukset
- markkinoinnin ja lipunmyynnin kustannukset
- toimitilojen ylläpidon ja käytön kustannukset
- vakuutusmaksut.

Henkilöjunien liikennöintikustannusmallien perusmuoto on seuraava:

Junan liikennöintikustannus = matka-aika (h) \* (a1 + lisäyksikköjen määrä \* a2) + matkan pituus (km) \* (b1 + lisäyksikköjen määrä \* b2),

a1 = perusyksikön aikakustannus (€/h)

a2 = lisäyksikön aikakustannus (€/h)

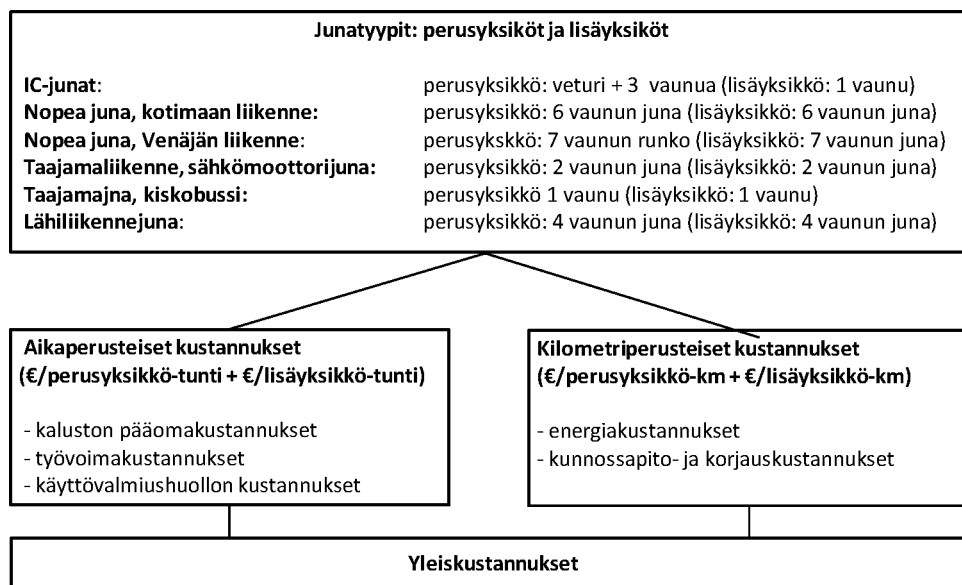
b1 = perusyksikön matkakustannus (€/km)

b2 = lisäyksikön matkakustannus (€/km)

Perusyksiköllä ja lisäyksiköllä tarkoitetaan moottorivaunuliikenteessä yhtä junayksikköä, joka käsittää:

- kotimaan nopeassa junaliikenteessä (Sm3): 6 vaunua
- Suomen ja Venäjän välisessä nopeassa junaliikenteessä: 7 vaunua
- taajamajunaliikenteessä (Sm4): 2 vaunua
- taajamajunaliikenteessä (kiskobussi, Dm12): 1 vaunu
- lähijunaliikenteessä (Sm5): 4 vaunua.

Veturivetoisessa henkilöjunaliikenteessä perusyksikkö muodostuu veturista ja kolmesta kaksikerroksesta matkustajavaunusta (kuva 1).



Kuva 1. Henkilöjunien liikennöintikustannusmallin rakenne.

## 2.4 Aikaperusteiset kustannukset

### 2.4.1 Pääomakustannukset

Pääomakustannusten laskennan lähtökohtana ovat kaluston (junayksiköiden, veturi- en ja vaunujen) uushankintahinnat, pitoajat, vuotuiset käyttötunnit sekä laskentakorko. Käytetyt kaluston hankintahintatiedot perustuvat julkisiin tietoihin tyyppikalustoa vastaavan kaluston hankintahinnoista Suomessa ja ulkomailla sekä edellä mainittujen tietojen pohjalta tehtyihin hinta-arvioihin. Hinnat määritetään vuoden 2012 hintatasossa.

Junakaluston laskennallinen pitoaika on 20 vuotta. Kalustolle ei lasketa jäännösarvoa. Kaluston pääomakustannukset lasketaan ns. kiinteään tasaerän mukaisesti, jolloin vuotuiset poistot ja korot ovat yhtä suuria. Käytettävä laskentakorko on 5 %. Kaluston tuntikustannusten määrittämiseksi vuotuiset pääomakustannukset jaetaan kaluston vuotuisilla käyttötunneilla (taulukko 1). Tuntikustannukseen lisätään 15 % varakaluston aiheuttamana kustannuksena. Yksikkökustannukset junaa kohti saadaan junan kokoonpanon (junayksiköiden ja vaunujen määrä) ja kalustokohtaisten yksikkökustannusten perusteella (taulukko 2).

*Taulukko 1. Kaluston hankintahinnat, vuotuiset käyttötunnit ja tuntikustannukset (v. 2012 kustannustaso).*

Kalusto	hankintahinta (M€)	käyttötunnit (h/vuosi)	tuntikustannus (€/h)
Sähköveturi	4,5	3 900	106
Dieselveturi, 1000 kW	2,4	3 900	57
Nopea junayksikkö, kotimaa	25,0	4 200	549
Nopea junayksikkö, Venäjä	30,0	4 200	659
Taajamajuna, sähkö	5,3	4 200	116
Taajamajuna, kiskobussi	1,7	3 000	62
Lähijuna	7,0	4 200	154
Kaksikerroksinen vaunu	2,0	3 900	47

*Taulukko 2. Kaluston pääomakustannukset henkilöjunien perusyksikköä ja lisäyksikköä kohti (sisältää varakaluston kustannukset, v. 2012 hintataso).*

Junatyyppi	kustannus/ perusyksikkö (€/h)	kustannus/ lisäyksikkö (€/h)
IC-juna, sähköveturi	248	47
IC-junat, dieselveturi	199	47
Nopea juna, kotimaa	549	549
Nopea juna, Venäjä	659	659
Taajamajuna, sähkö	116	116
Taajamajuna, kiskobussi	52	52
Lähiliikennejuna, sähkö	154	154

#### 2.4.2 Työvoimakustannukset

Junahenkilöstön työvoimakustannukset perustuvat arvioituihin veturinkuljettajien ja konduktöörin palkkakustannuksiin (sisältäen lomarahat), pakollisiin sosiaalivakuutusmaksuihin sekä henkilöstön matkakuluihin (päivärahat, majoitus- ja matkakorvaukset). Palkat ovat riippuvaiset mm. henkilön kokemusvuosista ja erilaisista työehtosopimuksen mukaisista lisistä. Lähtökohtana olleet veturinkuljettajien ja konduktöörin vuotuiset työvoimakustannukset on esitetty taulukossa 3.

Vuotuiset työvoimakustannukset kohdistetaan junien aikataulunmukaisia työtunteja kohti. Tätä varten palkallisista vuotuisista työtunneista vähennetään keskimääräisten lomapäivien, sairauspäivien, koulutus- yms. palkallisten työpäivien tunnit. Varsinaisten työtuntien määräksi saadaan tällöin tehtävästä riippumatta 1450 tuntia vuodessa. Lisäksi otettiin huomioon junien aikataulun mukaisen työajan keskimääräinen osuus varsinaisesta työajasta. Tämä osuus on riippuvainen mm. työvuoron aloitus- ja lopetustyöhön kuluva ajasta, reitin aikataulun mukaisesta ajoajasta ja junien kääntöaikojen pituuksista pääteasemilla. Junatyypistä riippuen aikataulun mukaisen ajoajan osuus varsinaisesta työajasta arvioidaan olevan 60–70 %.

Perusyksikön ja lisäyksikön yksikkökustannusten lähtökohtana on oletettu, että junassa on aina yksi veturinkuljettaja ja yksi konduktööri perusyksikköä kohti. Lisäksi oletetaan, että veturivetoisissa junissa on toinen konduktööri jokaista viittä lisäyksikköä kohti ja nopeassa junaliikenteessä on yksi konduktööri jokaista viittä lisäyksikköä kohti (taulukko 4).

*Taulukko 3. Junahenkilöstön työvoimakustannukset tehollista työtuntia kohti (v. 2012 kustannustaso).*

Henkilöstöryhmä	työvoima- kustannukset (€/vuosi)	varsinaiset työtunnit (h/vuosi)	tehollisen työajan osuus (%)	tehollisen työajan kustannus (€/h)
Veturinkuljettaja				
• kaukoliikenne	85 734	1 450	70	84
• taajamaliikenne	71 405	1 450	60	82
• lähiliikenne	65 225	1 450	60	75
Konduktööri				
• kaukoliikenne	58 853	1 450	70	58
• taajamaliikenne	55 627	1 450	60	64
• lähiliikenne	52 402	1 450	60	60

*Taulukko 4. Junahenkilöstön kustannukset henkilöjunien perusyksikköä ja lisäyksikköä kohti (v. 2012 kustannustaso).*

Junatyyppi	kustannus/ perusyksikkö (€/h)	kustannus/ lisäyksikkö (€/h)
IC-juna, sähköveturi	142	12
IC-junat, dieselveturi	142	12
Nopea juna, kotimaa	142	58
Nopea juna, Venäjä	142	58
Taajamajuna, sähkö	146	0
Taajamajuna, kiskobussi	146	0
Lähiliikennejuna, sähkö	135	0

### 2.4.3 Käyttövalmiushuollon kustannukset

Käyttövalmiushuollon kustannukset sisältävät junien siivouksen, pesun, vessojen tyhjennyksen, vesisäiliöiden täydennyksen yms. töiden kustannukset. Ruotsalaisen selvityksen (Fröidh, 2102) mukaan nopean junan käyttövalmiushuollon kustannukset ovat raiteiden vuokrauksen ja junien kytkennän kustannukset mukaan lukien noin 150 SEK/ vaunu/ aikataulutunti.

Liikennöintikustannusmalleissa käyttövalmiushuollon kustannukset määritetään junan istumapaikkojen määrän perusteella. Edellä mainittuun ruotsalaiseen selvitykseen perustuen kustannuksena käytetään 0,20 €/istumapaikka/aikataulutunti. Junatyyppikohtaiset yksikkökustannukset on esitetty taulukossa 5.

*Taulukko 5. Henkilöjunien käyttövalmiushuollon kustannukset henkilöjunien perusyksikköä ja lisäyksikköä kohti (v. 2012 kustannustaso).*

Junatyyppe	kustannus/ perusyksikkö (€/h)	kustannus/ lisäyksikkö (€/h)
IC-juna, sähköveturi	66	22
IC-junat, dieselveturi	66	22
Nopea juna, kotimaa	62	62
Nopea juna, Venäjä	68	68
Taajamajuna, sähkö	37	37
Taajamajuna, kiskobussi	13	13
Lähiliikennejuna, sähkö	52	52

## 2.5 Matkaperusteiset kustannukset

### 2.5.1 Energiakustannukset

Henkilöjunien energiankulutukseen vaikuttavat veturin ominaisuudet, nopeus, junan massa, liikennepaikkatiheys ja radan geometria. Sähkövoimaa käyttävien uusien vetureiden ja sähkömoottorijunien kuten Sr2 ja Flirt jarruttaessa sähköä voidaan siirtää takaisin ajolankaan. Takaisin ajolankaan syötettävä sähkö hyvitetään liikennöitsijälle täysimääräisesti. Sähkön takaisin syötöllä on suuri merkitys (jopa yli 30 % käytetyn bruttoenergian määrästä) lähiliikenteessä, jossa junan pysähdysvälit ovat lyhyet. Sen sijaan kaukoliikenteessä takaisin syötön merkitys jää melko vähäiseksi (2–6 % käytetyn bruttoenergian määrästä). Käytetyn nettoenergian lisäksi liikennöitsijää veloitetaan lisäksi energiahäviöstä ajonlangassa, jonka osuus on 3–8 % ajolankaan syötetävästä sähköstä.

Junatyypikohtaisten liikennöintikustannusmallin sisältyvä energiakustannus perustuu keskimääräiseen energiakulutukseen, jossa on otettu huomioon aina junan massa, keskinopeus sekä sähköveturien ja sähkömoottorivaunun kaluston osalta myös keskimääräinen liikennepaikkaväli. Energiakulutuksen riippuvuutta edellä mainituista tekijöistä tutkittiin simuloinneilla, joiden perusteella eri junatyypeille määritettiin matemaattiset energiankulutusta kuvaavat mallit.

Simulointien tuloksia vertailtiin Liikenneviraston tekemin Sr2-veturien mittaustuloksiin (Martikainen et al, 2012) ja Stadlerin tekemiin Flirt-junien mittaustuloksiin. Simuloiduissa ja mitatuissa kulutusarvoissa ei todettu merkittäviä eroja. Simuloidut arvot perustuvat ideaalisiin liikenneolosuhteisiin. Käytännössä liikenteessä esiintyy lähes aina häiriöitä, jotka lisäävät junien jarrutusta ja kiihdytystä lisäten kulutusta ideaalisiin olosuhteisiin nähden.

Energian yksikkökustannukset perustuvat sähköenergian ja dieselvetureissa käytetävän kevyen polttonesteen hintatietoihin. Sähköenergian käytön osalta yksikkökustannuksiin lisätään 5 %, mikä perustuu sähköyhtiön laskuttamaan energiahäviöön ajolangassa.

### Sähköveturin energiankulutus (IC-junat)

Sr2-veturien energiankulutusta arvioitiin simuloinneilla, joissa junien bruttopaino oli 250–700 tonnia, keskinopeus 70–150 km/h ja pysähtymisväli 33–75 km. Simulointitulosten mukaan Sr2-veturin nettoenergiankulutus voidaan esittää matemaattisella mallilla, jossa on otettu huomioon myös ajolankaan takaisin syötettävä energia:

$$Y = 3,078 + 0,016 * X_1 - (6,451 * 10^{-9} * X_2^{4,10}) / X_3^{0,34} + (2,293 * 10^{-10} * X_1 * X_2^{4,1}) / X_3^{0,34} \quad **)$$

missä

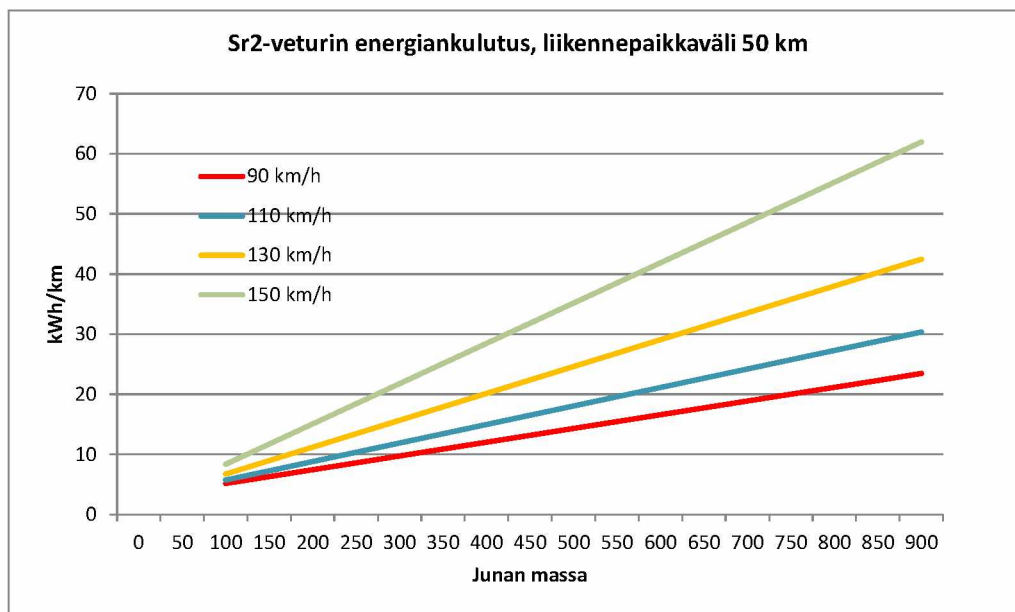
Y = energian käyttö [kWh/juna-km]

X<sub>1</sub> = junan massa [t]

X<sub>2</sub> = keskinopeus liikkeessä [km/h]

X<sub>3</sub> = keskimääräinen pysähdysväli [km].

Sr2-veturin energiankulutus on erittäin riippuvainen junan massasta ja nopeudesta (kuva 2). Liikennöintikustannusmallissa energiakustannuksen yksikköarvo perustuu 110 km/h keskinopeuteen ja 50 km:n liikennepaikkaväliin. Liitteen 1 taulukossa 1 on esitetty matemaattisella mallilla lasketut Sr2-veturin kulutusarvot erilaisilla junan massoilla ja keskinopeuksilla.



Kuva 2. Sr2-veturin vetämän henkilöjunan energiankulutuksen riippuvuus junan massasta ja nopeudesta, kun keskimääräinen liikennepaikkaväli on 50 km.

\*\*) korjattu kaavaa 3.2.2014



### Dieselveturien energiankulutus

Keskiraskaan dieselveturin (1000 kW) vetämän henkilöjunan energiankulutuksen simuloinneissa tarkasteltiin 150–600 tonnia (3–12 vaunua) painavia junia, joiden keskinopeus oli 60–100 km/h. Simulointien mukaan junan saavuttama keskinopeus ja polttoaineenkulutus ovat riippuvaisia junan massasta. Noin 700 tonnia painava juna saavuttaa korkeintaan noin 70 km/h keskinopeuden, kun noin 150 tonnia painava juna saavuttaa lähes 100 km/h keskinopeuden (kuva 3). Dieselveturin polttoaineen kulutusta kuvaava matemaattinen malli on muotoa:

$$Y = 1,117 - 0,0105 * X_2 + 7,570 * 10^{-5} * X_2^2 + 0,00259 * X_1 - 1,850 * 10^{-5} * X_1 * X_2 + 4,635 * 10^{-7} * X_1 * x_2^2 + 1,0325 * 10^{-6} * X_1^2 - 3,378 * 10^{-8} * X_1^2 * X_2 + 4,383 * 10^{-10} * x_1^2 * X_2^2,$$

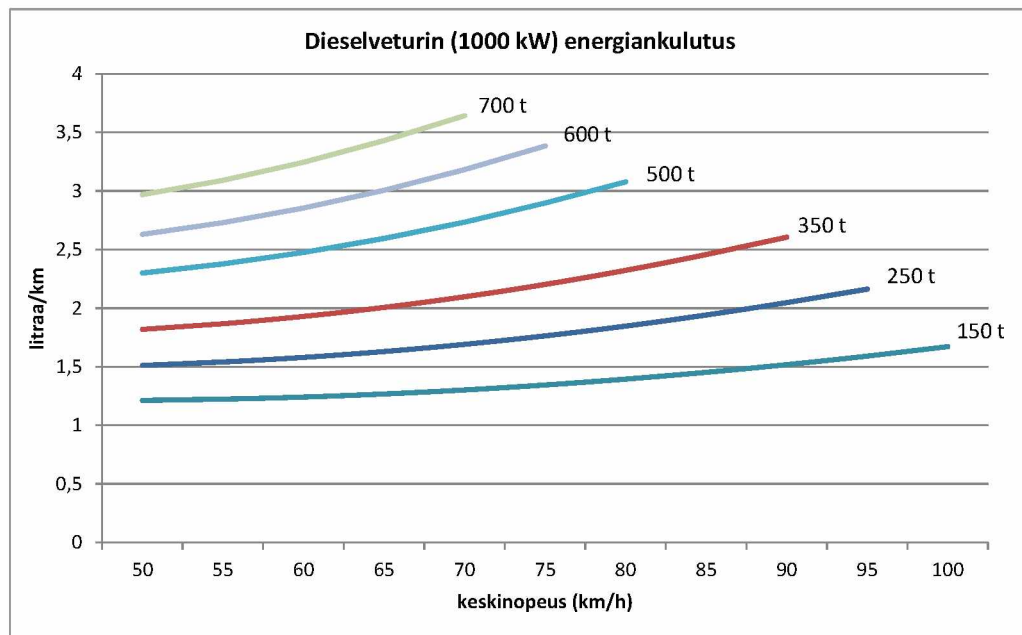
missä

$Y$  = polttoaineen kulutus [l/juna-km]

$X_1$  = junan massa [t]

$x_2$  = junan nopeus [km/h].

Liikennöintikustannusmallissa energiakustannuksen yksikköarvo perustuu 70 km/h keskinopeuteen. Liitteen 1 taulukossa 2 on esitetty kulutusmallilla lasketut kulutukset eri junapainoilla ja keskinopeuksilla.



Kuva 3. Keskiraskaan dieselveturin (1000 kW) polttoaineen kulutuksen riippuvuus henkilöjunan massasta ja keskinopeudesta.

## Nopeat junat

Nopean kotimaan junan (Pendolino) energiankulutusta simuloitiin nykyisillä nopean junaliikenteen reiteillä, joilla aikataulun mukainen keskinopeus oli 112–133 km/h ja keskimääräinen liikennepaikkaväli 31–97 km. Simulointitulosten mukaan nopean junan nettoenergiankulutus voidaan esittää matemaattisella mallilla, jossa on otettu huomioon myös ajolankaan takaisin syötettävä energia:

$$Y = 10,611 + 2,261 \cdot 10^{-7} \cdot (X_1^{3,737} / X_2^{0,311}), \quad (**)$$

missä

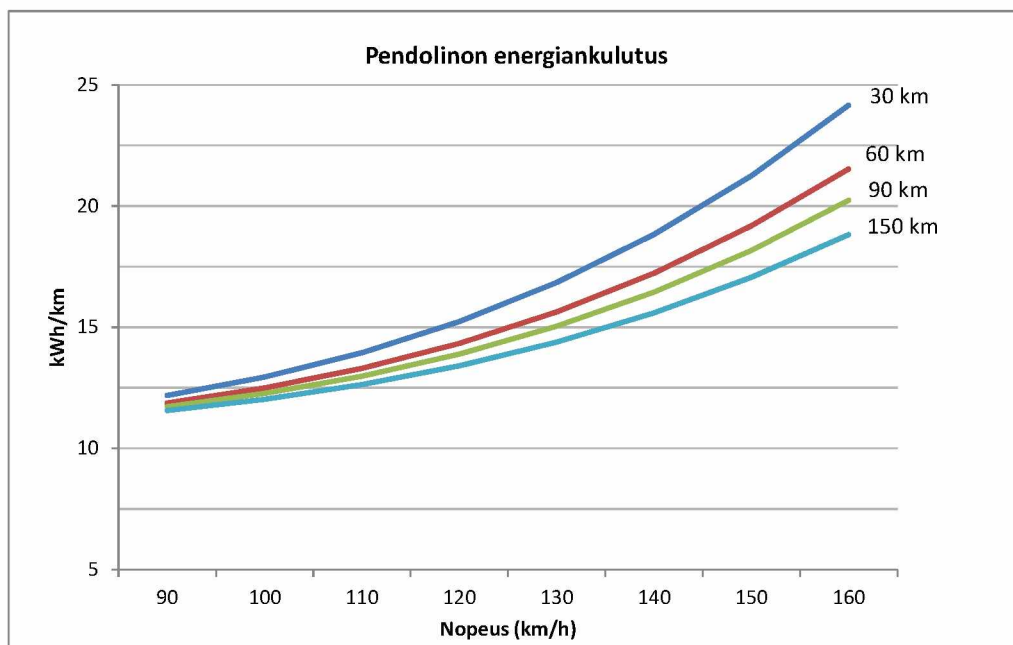
Y = energian nettokulutus [kWh/km]

X<sub>1</sub> = keskinopeus liikkeessä [km/h]

X<sub>2</sub> = keskimääräinen liikennepaikkaväli [km].

Liikennöintikustannusmallissa kotimaan nopean junan energiakustannus perustuu 130 km/h keskinopeuteen liikkeessä ja 80 kilometrin keskimääräiseen liikennepaikkaväliin. Tällöin junan kulutus on 15,2 kWh/junayksikkö-km. Kuvassa 4 ja liitteen 1 taulukossa 3 on esitetty nopean junan kulutuksen riippuvuus nopeudesta ja liikennepaikkavälistä. Kun nopea juna muodostuu kahdesta eri junayksiköstä, on junan energiankulutus noin kaksinkertainen, mikä perustuu siihen, että moottorit eivät pysty toimimaan tällöin parhaalla mahdollisella hyötysuhteella.

Venäjän nopean junan (Allegro) kulutusta ei simuloitu. Allegron massa ja teho ovat selvästi kotimaan Pendolino-junaa suurempia, minkä vuoksi Allegron keskimääräiseksi energiankulutukseksi Suomessa on arvioitu karkeasti 20 kWh/km.



Kuva 4. Pendolino-junan (yksi junarunko) energiankulutuksen riippuvuus keskinopeudesta, kun keskimääräisen liikennepaikkaväli on 30–150 km.

### Lähiliikennejunan (Flirt) energiankulutus

Lähiliikennejunan energiankulutuksen simuloinneissa tarkasteltiin lukuisia pääkaupunkiseudun lähiliikenteen linjoja. Simuloinnin tuloksia verrattiin Stadlerin Suomessa tekemiin testiajojen kulutusarvoihin. Sekä simulointien että Stadlerin tekemien mittausten mukaan Flirt-junan nettoenergian kulutus on 5–8 kWh/km. Mitatut kulutusarvot todettiin hieman suuremmiksi kuin simuloimalla määritetyt arvot. Syynä tähän on todennäköisesti se, ettei käytännössä ajo onnistu ideaalisella tavalla eli siten, että asemaväleillä kiihdytetään vakiotavoitenopeuteen, jota ylläpidetään aina siihen asti kunnes jarrutus alkaa. Liikenteessä esiintyy häiriöitä, joiden vuoksi on välillä jarrutettava ja sitten taas kiihdytettävä, joka lisää bruttoenergian kulutusta ja toisaalta myös ajolankaan palautuvan energian määrää.

Simulointitulosten perusteella yhden junayksikön mittaisen Flirt-junan nettoenergian käytölle määritettiin matemaattinen malli, jossa selittävinä muuttujina ovat junan keskinopeus, pysähdysfrekvenssi sekä keskimääräinen pituuskaltevuus. Malli on seuraava (kuva 5):

$$Y = 5,549 + (2,329 * X_1^{7,08} / X_2^{2,765}) + 0,345 * X_3, \text{ missä}$$

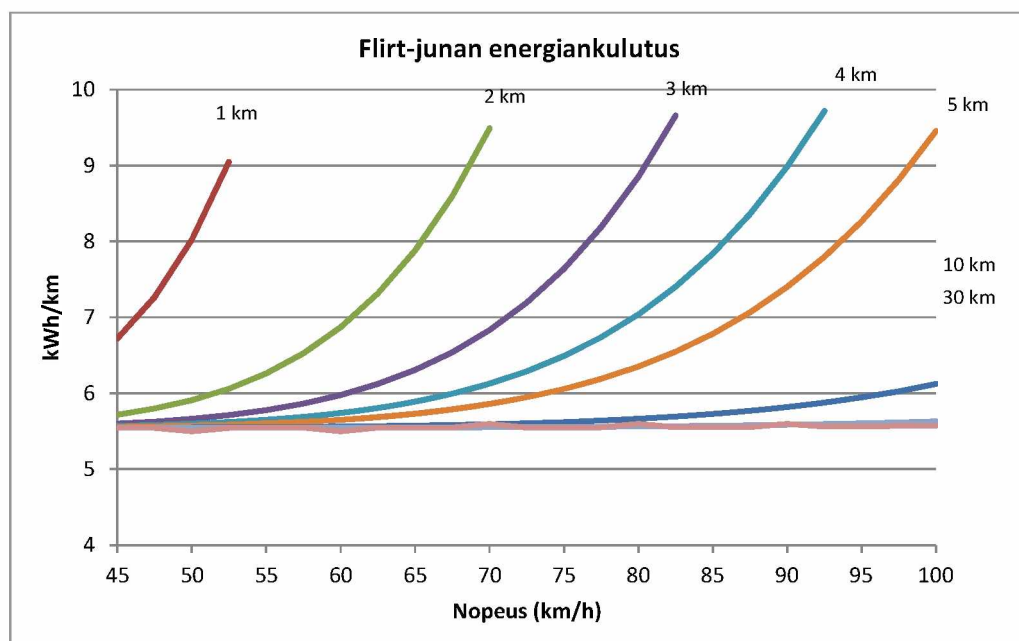
$Y$  = energian nettokulutus [kWh/km]

$X_1$  = keskinopeus liikkeessä [km/h]

$X_2$  = keskimääräinen liikennepaikkaväli [km]

$X_3$  = keskimääräinen pituuskaltevuus promilleina.

Liikennöintikustannusmallissa lähiliikenteen junan energiakustannus perustuu 55 km/h keskinopeuteen liikkeessä ja 2,0 kilometrin keskimääräiseen liikepaikkaväliin tasaisella radalla. Tällöin junan kulutus on 6,3 kWh/junayksikkö-km. Liitteen 1 taulukossa 4 on esitetty kulutusmallilla lasketut kulutusarvot erilaisilla keskinopeuksilla ja liikennepaikkatiheyksillä. Kun juna muodostuu kahdesta eri junayksiköstä, on junan energiakulutus kaksinkertainen yhden yksikön junaan verrattuna.



Kuva 5. Flirt-lähiliikennejunan (perusyksikkö) energiankulutus keskinopeuden ja liikennepaikkavälin mukaan.

### Coradia -taajamajunan energiankulutus

Coradia -sähkömoottorijunan energiankulutusta simuloitiin Helsingin ja Lahden välisellä reitillä (Z-juna) sekä Helsingin ja Riihimäen välillä liikennöineen G-junan sekä Helsingin ja Karjaan välillä liikennöivän Y-junan reitillä. Simuloinneissa junien nopeus oli 82–111 km/h ja keskimääräinen liikennepaikkaväli 12–18 km. Junan nettoenergiankulutus (sähkön takaisin syöttö vähennetty) oli 7,0–9,2 kWh/km. Suurin arvo edustaa Z-junan kulutusta (keskinopeus 111 km/h ja liikennepaikkaväli 18 km) ja pienin Y-junan kulutusta (keskinopeus 80 km/h ja liikennepaikkaväli 12 km). Liikennöintikustannusmallin lähtökohdaksi valittiin 90 km/h keskinopeutta ja 15 km keskimääräistä liikennepaikkaväliä koskeva kulutus, joka on noin 7,5 kWh/km. Kulutuksesta ei määritetty matemaattista mallia.

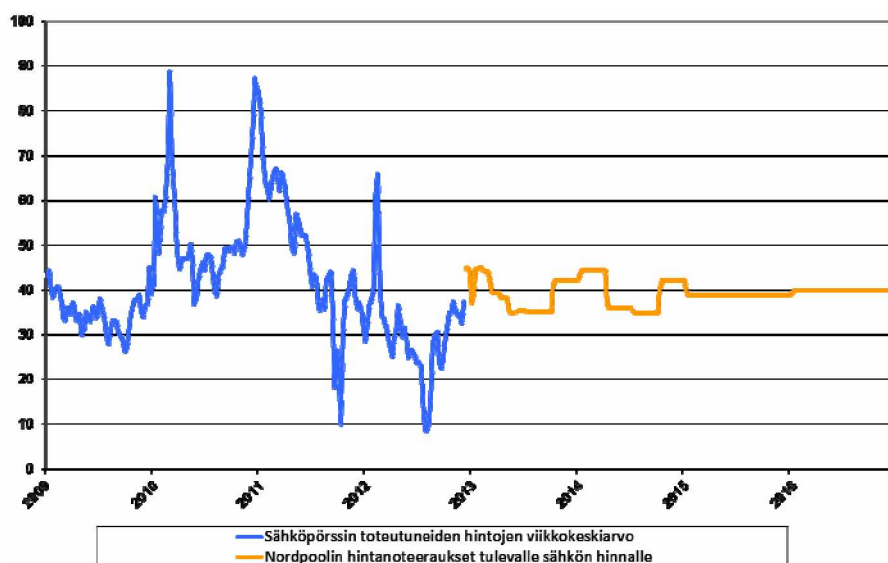
### Kiskobussin energiakulutus

Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen LIPASTO-järjestelmän mukaan taajamaliikenteessä käytettävän kiskobussin keskimääräinen kulutus on 0,7 l/junayksikkö-km, mitä käytetään myös liikennöintikustannusmallin lähtökohtana.

### Sähkön hinta

Rautatieliikenteessä käytettävän sähkön kokonaishinta muodostuu sähkön myyntihinnasta ja sähkön siirto hinnasta syöttöasemalle. Vuoden 2013 alusta lähtien rautatieyritykset maksavat myös jännitehäviöistä ajojohdossa. Sähkön hinta seuraa yleistä sähkömarkkinoiden tukkuhinnan kehitystä. Pohjoismaisen sähköpörssin (Nordpool) toteutuneet hintanoteeraukset ovat viime vuosina vaihdelleet huomattavasti. Kehitykseen on vaikuttanut erityisesti vesitilanne. Nordpoolin noteeraukset tulevalle sähkön hinnalle ovat 35–45 euroa/MWh (3,5–4,5 senttiä/kWh) (kuva 6).

Jokainen rautatieyritys maksaa käyttämästään sähköstä oman sähköyhtiön kanssa tehdyn sopimuksen mukaisesti. Kustannuslaskentamallissa rautatieliikenteen käyttämän sähkön kokonaishinnaksi valittiin 60 euroa/MWh (6 senttiä/kWh). Rautatieliikenteessä käytettävästä sähköstä ei peritä sähkövero.



Kuva 6. Sähköpörssin toteutuneet sähkönhinnat (€/MWh) vuosina 2009–2012 sekä Nordpoolin hintanoteeraukset tulevalle sähkön hinnalle.

## Polttoaineen hinta

Rautatieliikenteessä käytetään dieselöljyä kevyemmin verotettua kevyttä moottoripolttoöljyä. Polttoaineen veroton hinta oli Öljyalan Keskusliiton kuluttajaseurannan mukaan vuoden 2012 lopulla 67 senttiä/litra. Verottoman polttoaineen hintaan vaikuttaa erityisesti raakaöljyn maailmanmarkkinahinnan kehitys. Ennen vuoden 2009 finanssikriisiä raakaöljyn hinta nousi voimakkaasti, ollen korkeimmillaan vuonna 2008 noin 130 USD/barreli. Vuoden 2009 aikana raakaöljyn hinta romahti ja nousi vuoden 2010 aikana noin 120 USD:iin barrelia kohti. Tämän jälkeen hinnan muutokset ovat olleet vähäisiä. Laskentamallissa käytettäväksi kevyen polttoöljyn hinnaksi valittiin 73 senttiä/litra, joka vastaa vuosien 2011–2012 keskimääräistä tasoa.

## Junatyypin energiakulutuksen yksikkökustannukset

Junatyypin energiankulutuksen yksikkökustannukset määritettiin edellä esitettyjä energiankulutustietojen sekä sähkön ja moottoripolttoöljyn verottoman hinnan perusteella. Sähkövetureiden ja sähkömoottorivaunun kaluston yksikkökustannuksiin lisätään 5 % operaattorilta veloittavien ajolankahäviöiden vuoksi (taulukko 6).

*Taulukko 6. Henkilöjunien energiakulutuksen kustannukset henkilöjunien perusyksikköä ja lisäyksikköä kohti (v. 2012 kustannustaso).*

Junatyyppi	kustannus/ perusyksikkö (€/km)	kustannus/ lisäyksikkö (€/km)
IC-juna, sähköveturi	0,67	0,11
IC-juna, dieselveturi	1,20	0,17
Nopea juna, kotimaa	0,96	0,96
Nopea juna, Venäjä	1,26	1,26
Taajamajuna, sähkö	0,47	0,47
Taajamajuna, kiskobussi	0,50	0,50
Lähiliikennejuna, sähkö	0,40	0,40

## 2.5.2 Kunnossapito- ja korjauskustannukset

Henkilöjunien kunnossapidon ja korjausten kustannukset voidaan jakaa jatkuvan viikoittaisen kunnossapidon ja pitkällä aikavälillä tehtävien suurten korjausten kustannuksiin.

Kaluston kunnossapidon ja korjauksen yksikkökustannusten määrittäminen perustuu kansainvälisiin tutkimuksiin, joiden tuloksia on esitetty seuraavassa kalustotyyppittein.

### Sähköveturit ja sähkömoottorijunat

Ranskalaisen tutkimuksen (Baumgartner, 2001) mukaan sähköveturien kunnossapidon ja korjauksen keskimääräiset kustannukset veturin pitoaikana voidaan arvioida kaavalla:

$E_L = 0,2 * P_L$ , jossa

$E_L$  = kunnossapito- ja korjauskustannus (€/km)

$P_L$  = sähköveturin hankintahinta (M€).

Saman selvityksen mukaan sähkömoottorijunien kunnossapidon ja korjauksen kustannukset ( $E_M$ , €/km) voidaan arvioida kavalla:

$E_M = 0,3 \cdot P_M$ , jossa

$P_M$  = kaluston hankintahinta.

Edellä esitettyjen arviointimenetelmien virhemarginaaliksi arvioitiin tutkimuksessa  $\pm 20$  %.

Stadlerin tiedotteen (13.12.2012) mukaan Lodz Agglomeration Railway (LKA) ja Stadler ovat sopineet 20 Flirt-junan toimittamisesta ja kunnossapidosta 15 vuoden ajan operaattorille kokonaishintaan 510 milj. Puolan zlotya, josta kunnossapidon osuus oli 128,1 milj. zlotya eli 33 % sopimushinnasta.

Ruotsalaisen selvityksen (Fröidh, 2012) mukaan nopean junakaluston kunnossapidon kustannukset ovat osittain riippuvaiset junan nopeudesta, koska suuri nopeus merkitsee kaluston yksityiskohtaisempaa ja tarkempaa tarkastusta. Selvityksessä esitetyssä kustannusmallissa viikoittaisen kunnossapidon kustannus on 4 SEK moottoroitua vaunukilometriä (vetävät akselit) tai veturikilometriä kohti ja 2,50 SEK/vaunu-km, kun vaunussa ei ole vetäviä akseleita. Selvityksen mukaan kunnossapito- ja korjauskustannusten summa on 20–25 % nopean junaliikenteen liikennöintikustannuksista. Näistä kunnossapidon osuus on noin 60 %.

### **Dieselveturit**

Ranskalaisen tutkimuksen (Baumgartner, 2001) mukaan dieselveturien kunnossapidon ja korjauksen keskimääräinen kustannus pitkällä aikavälillä (veturin pitoaikana) on linjaliikenteessä 1,5–2,5 €/km (vuoden 2001 kustannustaso). Australialaisen tutkimuksessa (ARTC, 2008) tarkasteltiin dieselveturia, jonka teho on 3 400 kW ja jolla ajetaan noin 250 000 km vuodessa. Tutkimuksessa veturin kunnossapidon ja korjauksen keskimääräiseksi kustannukseksi saatiin 1,5 AUD/km (n. 1,2 €/km, vuoden 2008 kustannustaso). Toisen australialaisen tutkimuksen (Downer et al., 2012) mukaan dieselveturin kunnossapidon ja korjauksen kustannukset ovat noin 30 % korkeammat kuin sähköveturien.

### **Vaunut**

Ranskalaisen tutkimuksen (Baumgartner, 2001) mukaan kaksikerroksisen matkustajavaunun kunnossapidon ja korjauksen keskimääräinen kustannus pitkällä aikavälillä on 0,25–0,30 €/km (vuoden 2001 kustannustaso). Ruotsalaisen tutkimuksen (Green Train, 2012), nopean junaliikenteen vaunun (ei vetäviä akseleita) kunnossapidon ja korjauksen kustannus on pitkällä aikavälillä noin 0,43 €/km (vuoden 2012 kustannustaso).

### **Laskentamallissa käytettävät kunnossapidon ja korjauksen yksikkökustannukset**

Laskentamallissa käytettävät yksikkökustannukset (vuoden 2012 kustannustaso) perustuvat edellä esitettyjen ulkomaisten tutkimusten tuloksiin ja niiden soveltamiseen tyyppikalustoille. Lisäksi on otettu huomioon muita yksittäisiä kustannustietoja.

Sähköveturin kunnossapidon ja korjauksen mallissa käytettäväksi kustannukseksi arvioidaan 0,9 €/km, keskiraskaan dieselveturin 1,0 €/km ja kaksikerroksisen matkus-

tajavaunun 0,5 €/km. Vastaavasti sähkömoottorivaunukaluston kunnossapidon ja korjauksen kustannukseksi arvioidaan seuraavat:

- kotimaan nopea juna: 3,7 €/km/perusyksikkö
- Venäjän liikenteen nopea juna: 4,1 €/km/perusyksikkö
- taajamajuna: 1,6 €/km/perusyksikkö
- lähiliikennejuna: 2,1 €/km/perusyksikkö.

Kiskobussin kunnossapidon ja korjauksen kustannuksena laskentamallissa käytetään 1,0 €/km/perusyksikkö (taulukko 7).

*Taulukko 7. Henkilöjunien kunnossapidon ja korjauksen kustannukset henkilöjunien perusyksikköä ja lisäyksikköä kohti (v. 2012 kustannustaso).*

Junatyyppi	kustannus/ perusyksikkö (€/km)	kustannus/ lisäyksikkö (€/km)
IC-juna, sähköveturi	2,4	0,5
IC-junat, dieselveturi	2,5	0,5
Nopea juna, kotimaa	3,7	3,7
Nopea juna, Venäjä	4,1	4,1
Taajamajuna, sähkö	1,6	1,6
Taajamajuna, kiskobussi	1,0	1,0
Lähiliikennejuna, sähkö	2,1	2,1

### 2.5.3 Yleiskustannukset

Henkilöliikenteen yleiskustannukset sisältävät mm. hallinnon, suunnittelun, matkalippujen myynnin, toimitilojen ylläpidon sekä vakuutusten kustannukset. Henkilöjunien yleiskustannuksiksi arvioidaan 15 % aika- ja matkaperusteisten kustannusten summasta.



## 2.6 Kustannusmallit

### 2.6.1 Kustannukset ilman veroja ja maksuja

Henkilöjunien yksikkökustannukset ilman veroja ja maksuja on esitetty taulukossa 8.

*Taulukko 8. Henkilöjunien yksikkökustannukset matkatuntia ja matkakilometriä kohti vuoden 2012 hintatasossa (v. 2012 kustannustaso).*

Junatyyppe	kustannus/ perusyksikkö		kustannus/ lisäyksikkö	
	(€/tunti)	(€/km)	(€/tunti)	(€/km)
IC-juna, sähköveturi	525	3,5	93	0,7
IC-juna, dieselveturi	468	4,3	93	0,8
Nopea juna, kotimaan liikenne	866	5,3	769	5,3
Nopea juna, Venäjän liikenne	1 000	6,2	903	6,2
Taajamajuna, sähkö	344	2,4	176	2,4
Taajamajuna, kiskobussi	242	1,7	75	1,7
Lähiliikenteen juna, sähkö	392	2,9	237	2,9

### 2.6.2 Henkilöjunaliikenteen verot ja maksut

Hankearvioinnin ohjeistuksen mukaan liikenneinvestointien kannattavuuslaskelmissa otetaan huomioon myös liikennöintikustannuksiin sisältyvät erityisverot (vähennyskelvottomat verot). Liikennöintikustannuksiin lisätään tällaiset verot ja maksut ja toisaalta veroja ja maksuja tarkastellaan erikseen saajan kohdalla erimerkkisenä.

Henkilöjunaliikenteeltä perittäviä liikenteen erityisveroja ja maksuja ovat polttonesteen hintaan sisältyvä valmistevero sekä ratamaksu. Verojen ja maksujen suuruus on matkan pituudesta riippuvia kustannuksia, joiden kustannusvaikutuksen yksikkönä voidaan käyttää [€/km].

Henkilöjunaliikenteeltä perittävän ratamaksun perusosan suuruus on 0,1308 senttiä/bruttotonnikilometri ja ratavero 0,01 senttiä/bruttotonnikilometri. Kevyen polttoöljyn hinnassa on erilaisia valmisteveroja (energiasisältövero, hiilidioksidivero ja huoltovarmuusmaksu) 18,7 senttiä/litra (Tulli, 2012). Henkilöliikenteeltä perittävän ratamaksun perusosan suuruus on 0,1308 senttiä/bruttotonnikilometri ja ratavero 0,01 senttiä/bruttotonnikilometri (Liikennevirasto, 2012b). Verojen ja maksujen aiheuttamat kustannukset junatyyppeiden perusyksikköä ja lisäyksikköä kohti on esitetty taulukossa 9.

*Taulukko 9. Henkilöjunien verot ja maksut perusyksikön ja lisäyksikön matkakilometriä kohti (v. 2012 kustannustaso).*

Junatyyppe	verot ja maksut/ perusyksikkö (€/km)	verot ja maksut/ lisäyksikkö (€/km)
IC-juna, sähköveturi	0,36	0,08
IC-junat, dieselveturi	0,64	0,12
Nopea juna, kotimaa	0,48	0,48
Nopea juna, Venäjä	0,52	0,52
Taajamajuna, sähkö	0,17	0,17
Taajamajuna, kiskobussi	0,21	0,21
Lähiliikennejuna, sähkö	0,20	0,20

## 3 Tavarajunien kustannukset ja mallit

### 3.1 Junatyypit

Tavarajunat voidaan jakaa suoriin juniin ja vaunuryhmäjuniin. Junatyyppejen kustannusrakenne eroaa toisistaan ratapihoilla tapahtuvan vaunujen järjestelytarpeen (vaihtotyön) osalta. Suorien junien runko pidetään koko matkan ajan yhtenäisenä, kun taas vaunuryhmäjuniin kokoonpanoa (vaunujen määrä ja vaunulajien koostumus) muutetaan järjestelyratapihoilla. Yksittäinen vaunuryhmä on osana erikokoisia junia kuljetuksen aikana. Suorat junat ovat erikoistuneet yleensä yhden tietyn tuotteen tai suur-yksikköjen kuljettamiseen.

Junatyyppejä ei erotella laskentamallissa. Vaunuryhmäkuljetusten osalta on erikseen määritetty vaihtotyön aiheuttamat lisäkustannukset. Näitä kustannuksia ei ole tarpeen tarkastella silloin, kun arvioidaan pelkästään ratalinjalla tehtävien toimenpiteiden vaikutuksia.

### 3.2 Tyypikalusto

#### 3.2.1 Veturit

##### Tyypiveturien ominaisuudet

Sähköveturin vetämän tavarajunan kustannusmallin määrittämisessä tyypiveturina käytetään veturia, joka ominaisuuksiltaan vastaa käytössä olevaa Sr2 -veturia eli sen maksimiteho on 6100 kW ja paino 83 tonnia. Veturi kykenee vetämään asetettujen tavoitenopeuksien mukaan 2000 tonnoin painoisen junan ja kaksi veturia yhteen kytkettynä 4000 tonnoin tai ja vastaavasti kolme veturia yhteen kytkettynä 6000 tonnoin painoisen junan. Yhteen kytkettyjä sähkö- ja dieselvetureita voidaan ajaa yhden kuljettajan voimin samasta ajopöydästä.

Laskennassa käytetään kolmea dieselveturia. Yksi vetureista on nykyistä Dv12-kalustoa vastaava keskiraskas dieselveturi (teho 1000 kW ja paino 63 tonnia). Kaksi muuta ovat ns. raskaita dieselvetureita, joiden tehot ovat 2000 kW ja 3000 kW ja paino 90 tonnia. Myös dieselveturit kykenevät vetämään 2000 tonnoin painoisen junan, mutta saavuttama keskinopeus jää selvästi näitä tehokkaampaa sähköveturia matalammiksi (saavutettavat keskinopeudet eri tavoitenopeuksilla ja junapainoilla on esitetty luvussa 3.4.1).

### 3.2.2 Tavaravaunut

Laskentamalli perustuu neliakselisten vaunujen käyttöön. Lähtökohtana olevia vaunutyyppejä ovat avovaunut, katetut vaunut ja säiliövaunut. Suomen rautatietilaston mukaan VR:n neliakselisten vaunujen määrät olivat seuraavat:

- avovaunut: 4080 kpl
- katetut vaunut: 6278 kpl
- säiliövaunut: 508 kpl.

Lisäksi muut yritykset omistivat 64 neliakselista vaunua.

Suurin osa vaunuista on mitoitettu 22,5 tonnin akselipainon mukaan, jolloin vaunun kokonaispaino on enintään 90 tonnia. Osa vaunuista (mm. teräkelavaunuja, rikastevaunuja ja katettuja vaunuja) mahdollistaa 25 tonnin akselipainon, jolloin vaunun kokonaispaino voi olla enintään 100 tonnia. Vaunukalustoa uusittaessa 25 tonnin akselipainon omaavan kaluston osuus tulee nousemaan. Toistaiseksi 25 tonnin akselipaino voidaan hyödyntää vain muutamilla rataosilla. Neliakselisten avovaunujen keskimääräinen taarapaino on noin 23 tonnia, katettujen vaunujen 25–30 tonnia ja säiliövaunujen 22–26 tonnia (kokonaispaino yleensä 80 tonnia)

Laskentamallissa käytetään neliakselista vaunua, jonka ominaisuudet ovat:

- taara: 25 tonnia
- lasti kuormasuunnassa: 60 tonnia
- vaunun keskimääräinen kokonaispaino: 55 tonnia.

### 3.2.3 Kustannusmallin rakenne

Tavarajunien liikennöintikustannukset jaetaan kustannusmallin muodostamista varten matka-ajasta riippuviin kustannuksiin, matkan pituudesta riippuviin kustannuksiin sekä yleiskustannuksiin.

Matka-ajasta riippuvaisia kustannuksia ovat:

- kaluston pääomakustannukset, jotka muodostuvat kaluston hankintahinnasta ja hankinnan koroista,
- veturinkuljettajien työvoimakustannukset, jotka muodostuvat palkkakustannuksista henkilösivukustannuksineen sekä työhön liittyvistä kuluista kuten majoitus- ja matkakustannuksista.

Matkan pituudesta riippuvaisia kustannuksia ovat:

- energiakustannukset
- vetureiden ja vaunujen kunnossapidon ja korjauksen kustannukset
- vaihtotyön kustannukset (vain vaunuryhmäkuljetukset).

Yleiskustannuksia ovat mm.:

- hallintokustannukset
- suunnittelukustannukset
- markkinoinnin ja myynnin kustannukset
- toimitilojen ylläpidon ja käytön kustannukset
- vakuutusmaksut (kuva 7).

Tavarajunien liikennöintikustannusmallien perusmuoto on seuraava:

Junan liikennöintikustannus = matka-aika (h) \* (a1 + vaunujen määrä \* a2) +  
matkan pituus (km) \* (veturien määrä \* b1 + vaunujen määrä \* b2),

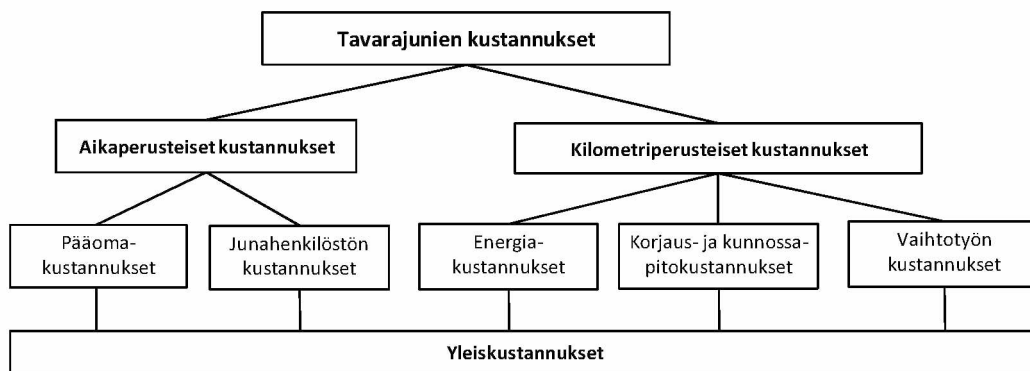
a1 = veturien aikakustannukset (€/h) (\*)

a2 = vaunun aikakustannus (€/h)

b1 = veturin matkakustannus (€/km)

b2 = vaunun matkakustannus (€/km)

(\*) Veturien aikakustannusten summa, kun junassa on useampia vetureita. Aikakustannus toista ja kolmatta veturia kohti on pienempi kuin yhtä veturia kohti (junassa vain yksi kuljettaja).



Kuva 7. Tavarajunien liikennöintikustannusmallin rakenne.

## 3.3 Aikaperusteiset kustannukset

### 3.3.1 Pääomakustannukset

Pääomakustannusten laskennan lähtökohtana ovat veturien ja vaunujen keskimääräiset uushankintahinnat, pitoajat, vuotuiset käyttötunnit sekä laskentakorko. Käytetyt kaluston hankintahintatiedot perustuvat julkisiin tietoihin tyyppikalustoa vastaavan kaluston hankintahinnoista Suomessa ja ulkomailla sekä edellä mainittujen tietojen pohjalta tehtyihin hinta-arvioihin. Hinnat on määritetty vuoden 2012 hintatasossa.

Kaluston laskennallinen pitoaika on 20 vuotta. Kalustolle ei lasketa jäännösarvoa. Kaluston pääomakustannukset määritettiin ns. kiinteän tasaerän mukaisesti, jolloin vuotuiset poistot ja korot ovat yhtä suuria koko pitoajan. Käytetty laskentakorko on 5 %. Veturien tuntikustannusten määrittämiseksi vuotuiset pääomakustannukset jaettiin kaluston vuotuisilla käyttötunneilla, joiden määräksi oletettiin 3900 (lähtökohtana on 300 käyttöpäivää/v ja 13 tehollista käyttötuntia/vrk). Vaunujen osalta vuorokautisiksi käyttötunneiksi oletettiin 24 tuntia, joka sisältää vaunujen lastaukseen ja purkuun, siirtoon, vaihtotöihin, linjalle pääsyyn ja odotteluun kuluva ajan. Vaunujen vuotuiset käyttötunnit 300 käyttöpäivän ajalta ovat 7200. Tuntikustannukseen lisättiin varakaluston aiheuttama lisäkustannuksena 15 % (taulukko 10).

*Taulukko 10. Kaluston hankintahinnat, vuotuiset käyttötunnit ja tuntikustannukset (tuntikustannus sisältää varakaluston kustannuksen, vuoden 2012 kustannustaso).*

Kalusto	Hankintahinta (M€)	Käyttötunnit (h/vuosi)	Tuntikustannus (€/h)
Sähköveturi, 6100 kW	4,50	3 900	106
Raskas dieselveturi, 2000 kW	3,20	3 900	76
Raskas dieselveturi, 3000 kW	3,75	3 900	89
Keskiraskas dieselveturi, 1000 kW	2,50	3 900	57
Avovaunut	0,12	7 200	1,5
Katetut vaunut	0,14	7 200	1,9
Säiliövaunut	0,20	7 200	2,5
Vaunut keskimäärin	0,15	7 200	1,8

### 3.3.2 Työvoimakustannukset

Junahenkilöstön (veturinkuljettaja ja konduktöörit) työvoimakustannukset perustuvat arvioituihin palkkakustannuksiin (sisältäen lomarahat), pakollisiin sosiaalivakuutusmaksuihin sekä henkilöstön matkakuluihin (päivärahat, majoitus- ja matkakorvaukset). Palkka on riippuvainen mm. kokemusvuosista ja erilaisista työehtosopimuksen mukaisista lisistä.

Veturinkuljettajan ja konduktöörin vuotuiset työvoimakustannukset kohdistetaan veturien tehollisia käyttötunteja kohti. Tätä varten veturinkuljettajan palkallisista vuotuisista työtunneista vähennetään keskimääräisten lomapäivien, sairaspäivien, koulutus- yms. palkallisten työpäivien tunnit. Varsinaisten työtuntien määräksi saadaan tällöin tehtävästä riippumatta 1450 tuntia vuodessa. Lisäksi otetaan huomioon veturien ajamiseen käytettävän ajan osuus varsinaisesta työajasta, joksi arvioidaan 60 %. Veturinkuljettajan tehollisen työajan kustannukset ovat tällöin 98 euroa/tunti.

## 3.4 Matkaperusteiset kustannukset

### 3.4.1 Energiakustannukset

Tavarajunien energiankulutusta tutkittiin simuloimalla. Simuloinneissa tarkasteltiin tyyppiveturien kulutusta tasaisella nopeudella, joissa junan massa ja nopeus vaihtelivat. Nämä muuttujat olivat mukana myös laadituissa matemaattisissa malleissa. Simuloimalla tarkasteltiin myös ei-kaupallisten pysähdysten vaikutuksia. Sähkövetureita koskevien simulointien tuloksia vertailtiin Liikenneviraston tekemien mittausten tuloksiin ja LIPASTO:ssa esitettyihin ominaiskulutusarvoihin. Simuloidut ja Liikenneviraston selvityksen (Martikainen et al., 2012) mukaiset mitatut kulutusarvot vastasivat varsin hyvin toisiaan. Sen sijaan LIPASTO:n arvot todettiin jopa 3-4-kertaa simuloituja ja mitattuja arvoja pienemmiksi. Sen sijaan keskiraskaiden dieselveturien osalta LIPASTO:n ja simulointien kulutusarvot vastasivat toisiaan.

### Sähköveturin energian kulutus tasaisella nopeudella

Sr2-veturin simuloinneissa tarkasteltiin junaa, jonka massa oli 83 t (pelkkä veturi)–2 333 tonnia ja keskinopeus 40–90 km/h. Simulointitilanne vastasi ideaalista tilannetta, jossa junan ei ulkopuolisten häiriöiden (mm. muun liikenteen) vuoksi tarvitse kiihdyttää ja jarruttaa vauhtia.

Simulointeihin perustuva Sr2-veturin energiankulutus on esitetty kuvassa 8 junan massan funktiona erilaisilla keskinopeuksilla. Simulointien mukaan esimerkiksi 1500 tonnia painavan junan nettoenergiankulutus nopeudella 70 km/h on 29 kWh/km (19,4 kWh/1000 brtkm). Kulutus vastaa hyvin kansainvälisissä tutkimuksissa määritettyä tasoa. Esimerkiksi EU-tutkimuksen (Zanuy et al., 2012) mukaan intermodaalikuljetukseen käytettävän junan, jonka bruttopaino on 1385 tonnia, energiankulutus on 26 kWh/km (18,8 kWh/1000 brtkm).

Simulointitulosten perusteella laadittu sähköveturin vetämän tavarajunan nettoenergiakulutusta kuvaava matemaattinen malli on seuraava:

$$Y = 5,209 - 0,0161 * X_2 - 7,030 * 10^{-5} * X_2^2 + 0,0128 * X_1 - 0,000137 * X_1 * X_2 + 2,653 * 10^{-6} * X_2^2 * X_1 - 8,510 * 10^{-7} * X_1^2 + 3,494 * 10^{-8} * X_2 * X_1^2 - 2,321 * 10^{-10} * X_2^2 * X_1^2,$$

missä

Y = energian käyttö [kWh/juna-km]

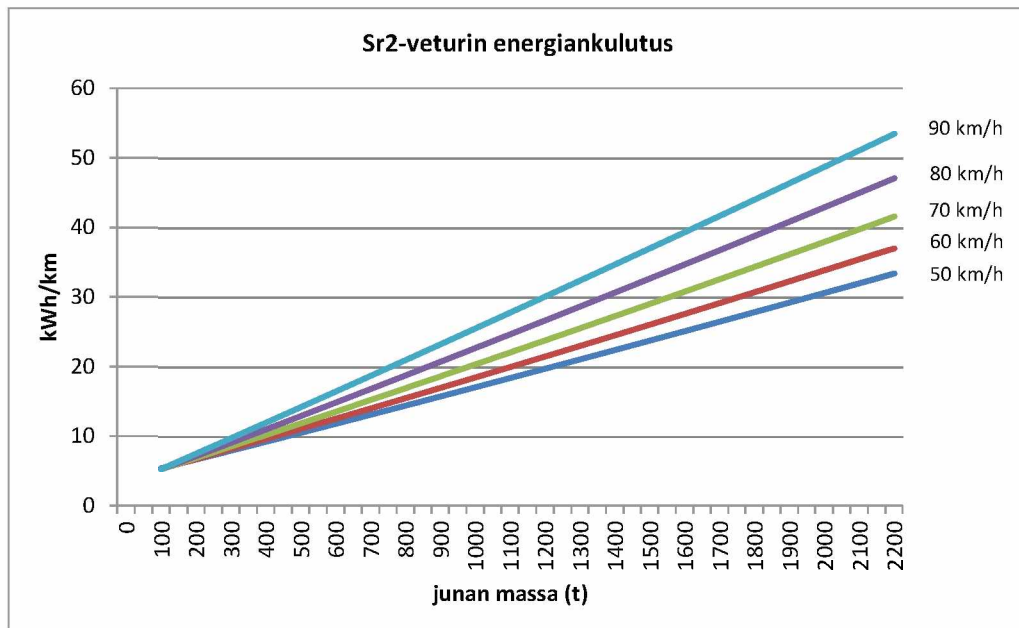
X<sub>1</sub> = junan massa [t].

X<sub>2</sub> = nopeus [km/h]

Liikennöintikustannusmallin lähtökohdaksi valittiin 70 km/h -nopeus. Kustannusmallissa vaunumäärän vaikutus tavarajunan kulutukseen otetaan huomioon vaunun keskimääräisen massan (taaran ja lastin summa) perusteella. Vaunun keskimääräiseksi massaksi on oletettu vaunun lasti- ja tyhjävaunusuunta huomioon ottaen 55 tonnia. Matemaattisella mallilla laskettuja nettoenergian kulutusarvoja erilaisilla junapainoilla ja nopeuksilla on esitetty liitteen 1 taulukossa 5.

Mikäli junassa on useampia yhteen kytkettyjä vetureita, voidaan veturien yhteenlaskettu energiankulutus arvioida myös edellä esitetyn matemaattisen mallin avulla. Esimerkiksi kahdella sähköveturilla vedettävän 4000 tonnia painavan junan kokonaiskulutus keskinopeudella 70 km/h on 76 kWh/km (vastaa kahden 2000 tonnia painavan junan kulutusta).

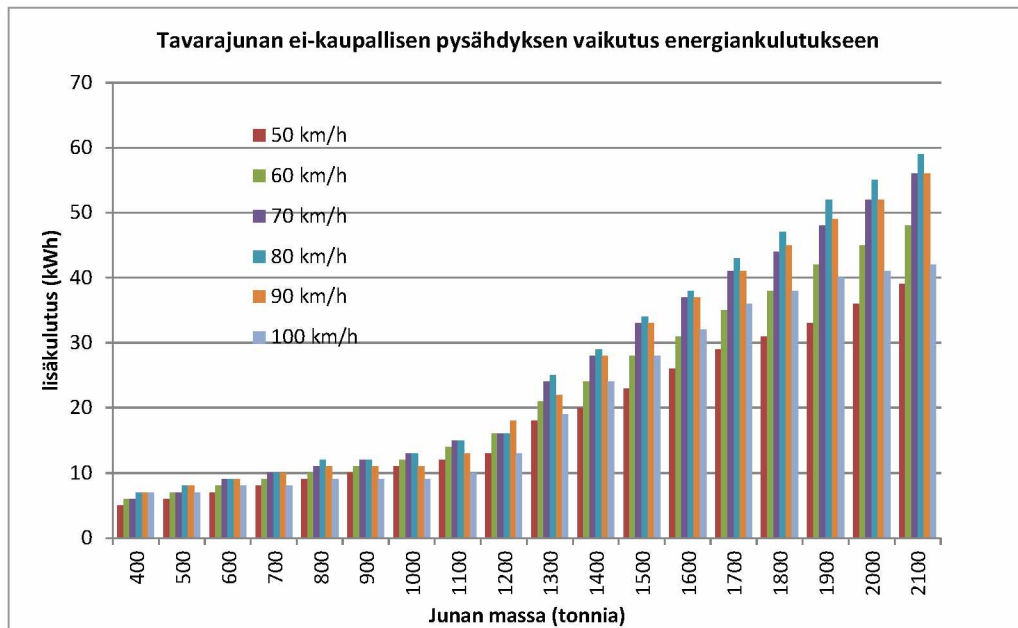




Kuva 8.. Simulointeihin perustuva Sr2-veturin energiankulutuksen riippuvuus tavarajunan massasta ja keskinopeudesta.

### Sähköveturin pysähdysten aiheuttama lisäkulutus

Tavarajunat joutuvat varsinkin yksiraiteisilla radoilla pysähtymään liikennepaikoilla vastakkaisesta suunnasta saapuvan junan kohtaamista varten tai takaa tulevan nopeamman junan väistämistä varten. Tällaiset ei-kaupalliset pysähdykset lisäävät merkittävästi tavarajunien energiankulutusta. Pysähdysten vaikutusta tutkittiin simuloimalla, joissa juna pysäytettiin tasaisella radalla. Simulointitulosten mukaan lisäkulutuksen suuruus on riippuvainen junan massan ohella nopeudesta, josta jarrutus aloitetaan ja johon pysähdysten jälkeen kiihdytetään. Junan massan kasvu lisää pysähdysten aiheuttamaa lisäkulutusta. Nopeustason kasvu lisää kulutusta aina noin 80 km:iin/h asti, jota suuremmilla nopeuksilla sähkön takaisinsyöttö jarrutuksen aikana kasvaa niin suureksi, että nettoenergian kulutus laskee (kuva 9). Pysähdysten aiheuttamat lisäkulutusarvot junan massan ja nopeustason mukaan on esitetty liitteen 1 taulukossa 6.



Kuva 9. *Sr2-veturien vetämien tavarajunan ei-kaupallisen pysähdysten aiheuttama lisäenergiankulutus junan nopeustason ja massan mukaan.*

### Dieselveiturien keskinopeus ja polttoaineenkulutus

Dieselveiturien energiankulutuksen simuloinneissa tarkasteltiin eri painoisia tavarajunia, joiden tavoitenopeus on 40–80 km. Simuloinneissa junien pysähdysten välinen etäisyys oli 100–700 km. Simulointien mukaan veturin teho, massa ja ratageometria vaikuttavat keskeisesti saavutettavissa olevaan keskinopeuteen. Saavutettavat keskinopeudet eri tavoitenopeuksilla voidaan arvioida seuraavilla malleilla (keskimääräinen pysähdysväli 100 km):

- 1) keskiraskas dieselvehuri (1000 kW):

$$V_{\text{kesk}} = 6,1 + 0,63 * v_{\text{tav}} + 0,0051 * v_{\text{tav}}^2 - 0,067 * m + 0,0032 * m * v_{\text{tav}} - 3,66 * 10^{-5} * m * v_{\text{tav}}^2 + 5,00 * 10^{-5} * m^2 - 2,24 * 10^{-6} * m^2 * v_{\text{tav}} + 2,11 * 10^{-8} * m^2 * v_{\text{tav}}^2$$

- 2) raskas dieselvehuri (2000 kW):

$$V_{\text{kesk}} = 9,1 + 0,52 * v_{\text{tav}} + 0,0054 * v_{\text{tav}}^2 - 0,28 * m + 0,0014 * m * v_{\text{tav}} - 1,47 * 10^{-5} * m * v_{\text{tav}}^2 + 8,38 * 10^{-6} * m^2 - 3,99 * 10^{-7} * m^2 * v_{\text{tav}} + 3,44 * 10^{-9} * m^2 * v_{\text{tav}}^2$$

- 3) raskas dieselvehuri (3000 kW):

$$V_{\text{kesk}} = 5,7 + 0,75 * v_{\text{tav}} + 0,0022 * v_{\text{tav}}^2 - 0,012 * m + 0,00052 * m * v_{\text{tav}} - 4,69 * 10^{-6} * m * v_{\text{tav}}^2 + 1,79 * 10^{-6} * m^2 - 6,12 * 10^{-8} * m^2 * v_{\text{tav}} + 2,08 * 10^{-11} * m^2 * v_{\text{tav}}^2$$

missä

$V_{\text{kesk}}$  = keskinopeus [km/h],

$v_{\text{tav}}$  = tavoitenopeus [km/h]

$m$  = junan massa [t].

Simulointien perusteella laadittiin dieselveturien polttoaineen kulutusta kuvaavat matemaattiset mallit tilanteille, joissa junan keskimääräinen pysähdysväli on 100 km. Muuttujina malleissa ovat keskinopeus ja junan massa (kuvat 10–12). Mallit ovat seuraavat:

1) keskiraskas dieselveturi (1000 kW)

$$Y = -0,437 + 0,0441 * X_2 - 0,00024 * X_2^2 + 0,0107 * X_1 - 0,00029 * X_1 * X_2 + 2,466 * 10^{-6} * X_2^2 * X_1 - 3,411 * 10^{-6} * X_1^2 + 8,583 * 10^{-8} * X_2 * X_1^2 - 1,205 * 10^{-10} * X_2^2 * X_1^2$$

2) raskas dieselveturi (2000 kW):

$$Y = 0,649 - 0,0285 * X_2 - 8,708 * 10^{-5} * X_2^2 + 0,00769 * X_1 - 0,000180 * X_1 * X_2 + 1,496 * 10^{-6} * X_2^2 * X_1 - 9,224 * 10^{-7} * X_1^2 + 1,1730 * 10^{-8} * X_2 * X_1^2 + 9,095 * 10^{-11} * X_2^2 * X_1^2$$

3) raskas dieselveturi (3000 kW):

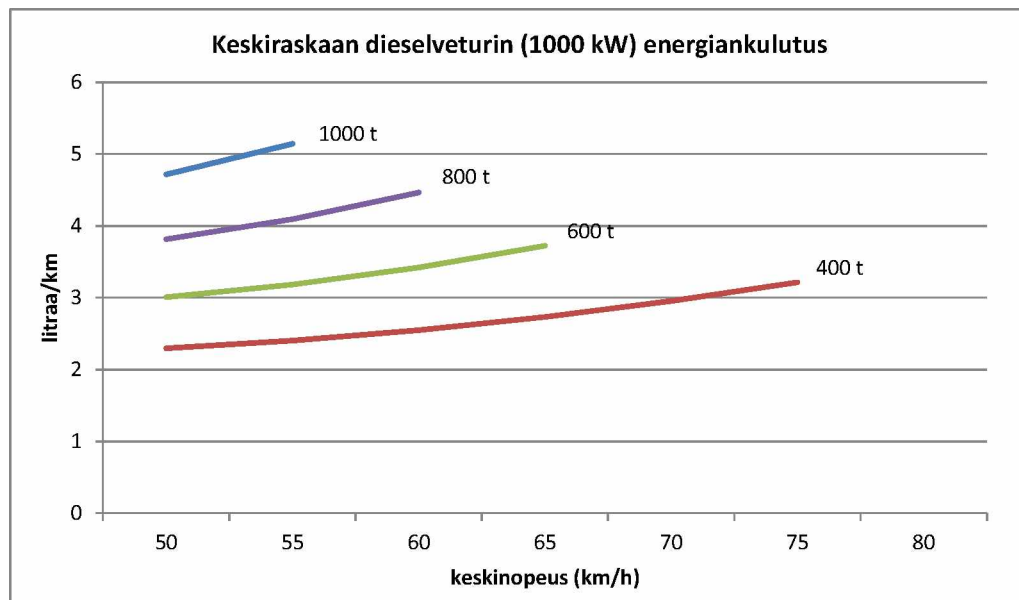
$$Y = 5,835 - 0,114 * X_2 + 0,000926 * X_2^2 + 0,00080 * X_1 + 3,910 * 10^{-5} * X_1 * X_2 - 1,116 * 10^{-7} * X_2^2 * X_1 + 1,512 * 10^{-6} * X_1^2 - 5,445 * 10^{-8} * X_2 * X_1^2 + 5,179 * 10^{-10} * X_2^2 * X_1^2$$

missä

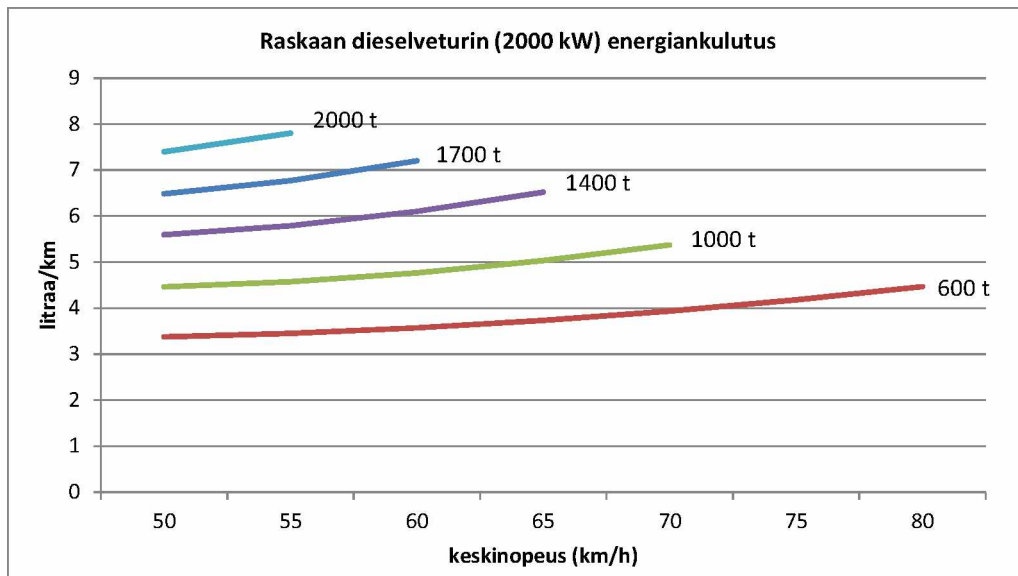
Y = polttoaineen kulutus [l/junakm]

X<sub>1</sub> = junan massa [t]

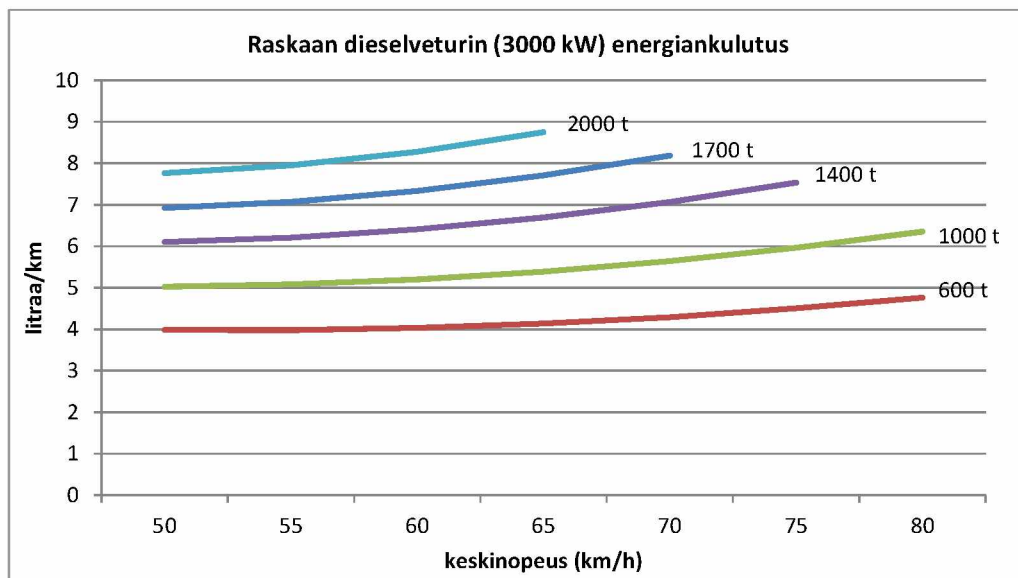
X<sub>2</sub> = keskinopeus [km/h].



Kuva 10. Keskiraskaan dieselveturin (1000 kW) polttoaineenkulutuksen riippuvuus tavarajunan keskinopeudesta ja massasta.



Kuva 11. Raskaan dieselveturin (2000 kW) polttoaineenkulutuksen riippuvuus tavarajunan keskinopeudesta ja massasta.



Kuva 12. Raskaan dieselveturin (3000 kW) polttoaineenkulutuksen riippuvuus tavarajunan keskinopeudesta ja massasta.

Edellä esitettyihin polttoaineen kulutusmalleihin perustuvat dieselvetureiden polttoaineen kulutusarvot erilaisilla junan massoilla ja keskinopeuksilla on esitetty liitteen 1 taulukoissa 7–9.

Liikennöintikustannusmallissa dieselveturien polttoaineenkulutus perustuu 60 km/h keskinopeuteen. On huomattava, että keskiraskas 1000 kW:n ja raskas 2000 kW:n veturit eivät saavuta 60 km/h keskinopeutta suurilla junapainoilla. Liikennöintikustannuksia arvioitaessa onkin varmistettava esimerkiksi kuvien 10 ja 11 avulla, että liikennöintikustannusten laskennassa käytettävä keskinopeus ja junan massa ovat mahdollisia. Yksityiskohtainen polttonesteen kulutus voidaan tarvittaessa arvioida kulutusmallien avulla.

*Taulukko 11. Tavarajunan verottomat energian yksikkökustannukset veturia ja vaunua kohti (vuoden 2012 kustannustaso).*

Veturityyppi	kustannus/ juna (€/km)	kustannus/ vaunu (€/km)
Sähköveturi, 6100 kW	0,31	0,06
Keskiraskas dieselveturi, 1000 kW	1,08	0,10
Raskas dieselveturi, 2000 kW	1,64	0,10
Raskas dieselveturi, 3000 kW	1,89	0,11

### 3.4.2 Kunnossapito- ja korjauskustannukset

#### Veturit

Veturien kunnossapidon ja korjauksen yksikkökustannukset perustuvat luvussa 2.5.2 esitettyihin ulkomaisiin lähdetietoihin. Sähköveturin yksikkökustannuksena käytetään 0,90 €/km, keskiraskaan dieselveturin (1000 kW) 1,0 €/km, raskaan dieselveturin (2000 kW) 1,2 €/km ja raskaan dieselveturin (3000 kW) 1,3 €/km (vuoden 2012 kustannustaso).

#### Vaunut

Ranskalaisen tutkimuksen (Baumgartner, 2011) mukaan eurooppalaisten tavaravaunujen kunnossapidon ja korjauksen keskimääräinen kustannus on keskimäärin 0,07 €/km (vaihteluväli: 0,05–0,13 €/km, vuoden 2001 kustannustaso). Vastaavasti australialaisessa tutkimuksessa (ARTC, 2008) arvioitiin konttien kuljetukseen käytettävien vaunujen vuotuiseksi kunnossapidon ja korjausten kustannukseksi pitkällä aikavälillä 0,05 AUD/km (n. 0,04 €/km), kun vaunujen vuotuinen suorite on 125 000–150 000 km. Saksalais-ruotsalaisen tutkimuksen (Zunuy et al., 2012) mukaan konttien kuljetukseen käytettävän tavanomaisen neliakselisen vaunun kunnossapitokustannus on 0,16 SEK/km (n. 0,02 €/km) ja vaunukuormaliikenteessä käytettävien katettujen vaunujen 0,20–0,28 SEK/km (n. 0,02–0,03 €/km).

Selvitysten perusteella laskentamallissa käytettäväksi neliakselisen vaunun kunnossapidon ja korjauksen kustannukseksi arvioidaan 0,03 €/km (vuoden 2012 kustannustaso).

### 3.4.3 Vaihtotyön kustannukset

#### Vaunujen järjestely

Vaunujen järjestelyn aiheuttaman vaihtotyön kustannukset muodostuvat ratapiha-henkilöstön työvoimakustannuksista, vaihtotyöveturin pääoma- ja energia- ja kunnossapitokustannuksista sekä yleiskustannuksista (suunnittelun ja hallinnon kustannukset). Lisäksi kustannuksia aiheutuu vaunujen aikaperusteisista pääomakustannuksista ja kilometriperusteisista vaunujen kunnossapidon kustannuksista.

Vaihtotyöryhmään oletetaan kuuluvan kolme henkilöä, joiden tehtävänimikkeet ovat ratapihakonduktööri, ratamies ja vaihtotyöveturin kuljettaja. Ryhmän vuotuisiksi työ-

voimakustannuksiksi arvioitiin noin 165 000 euroa ja vuotuiseksi ratapihalla tapahtuvan työskentelyn ajaksi 1450 tuntia. Tästä keskimäärin 80 % oletetaan kuluvan vaihtotyöhön eli vaunujen järjestelyyn yms. vaunujen järjestelemiseksi ja junien lähtökuntoon saattamisen edellyttämiin tehtäviin.

Vaihtotyöveturina käytetään kevyttä dieselveturia, jonka pääomakustannus on varakalusto huomioon ottaen 57 €/tunti. Vaihtotyöveturin polttoaineen kulutus on LIPASTO-järjestelmän mukaan 23 litraa/tunti (veroton kustannus 16,8 €/tunti). Vaihtotyöveturin kunnossapitokustannukseksi arvioidaan noin 6 €/tunti.

Vaunuryhmän oletetaan vaativan neljä vaihtotyötapauhtumaa molemmissa kulkusuunnissa ja niihin kuluva aika keskimäärin kolme tuntia suuntaa kohti. Tähän ei sisälly mahdollinen vaihtotyön odotusaika.

Edellä mainituilla laskentaperusteilla saadaan vaunuryhmän vaihtotyön kustannukseksi noin 670 €/vaunuryhmä/kuljetussuunta ja noin 170 €/vaunuryhmä/vaihtotyötapauhtuma. Kustannuksen suuruus oletetaan olevan riippumaton vaunuryhmän koosta. Tapauskohtaisesti vaihtotyön kustannukset voidaan määrittää joko todellisten vaihtotyötapauhtumien tai vaunujen määrään perustuen. Toinen vaihtoehto on käyttää edellä mainittua arviota keskimääräisistä vaihtotyötapauhtumien määrästä suuntaa kohti. Kustannukset voidaan kohdistaa myös vaunukilometriä kohti. Kun käytetään keskimääräistä rautatiekuljetuksen pituutta 270 km ja oletetaan vaunuryhmän keskimääräiseksi kooksi 10 vaunua, saadaan vaihtotyön kustannukseksi keskimäärin 0,25 €/vaunu-km (taulukko 12).

*Taulukko 12. Vaihtotyön kustannukset (ei sisällä vaihtotyöveturin polttoaineen hintaan sisältyviä veroja, vuoden 2012 kustannustaso).*

Vaihtotyö	€/ryhmä	€/vaunu <sup>(*)</sup>	€/vaunu-km <sup>(*)</sup>
vaihtotyötapauhtuma keskimäärin	167	17	0,25
vaihtotyö/suunta, keskimäärin	669	67	0,25
vaihtotyö/meno-paluu, keskimäärin	1 338	134	0,25

<sup>(\*)</sup> vaunuryhmän kooksi oletetaan 10 vaunua

Vaunujen pääomakustannus vaihtotyön ajalta on edellä mainittuja laskentaperusteita käyttäen 5,4 €/vaunu/suunta eli esim. 10 vaunun ryhmän osalta 54 €/suunta. Vaunun pääomakustannuksia muodostuu yleensä myös vaihtotyön odotusajalta, joka on arvioitava tapauskohtaisesti. Vaihtotyön aiheuttamia kunnossapitokustannuksia on vaikea erottaa vaunujen keskimääräisistä kunnossapitokustannuksista. Todennäköisesti vaihtotyökilometrien vaikutus keskimääräisessä kunnossapitokustannuksessa (€/km) on selvästi suurempi kuin vaunujen linjakilometrien vaikutus.

### Veturin vaihto

Mikäli osa kuljetuksesta joudutaan hoitamaan sähköistetyllä ja osa sähköistämättömällä rataosalla, on joissakin tapauksissa kannattavaa vaihtaa veturia matkan aikana. Vaihtoehtona on käyttää dieselveturia koko matkan ajan. Toimintatavan valintaan vaikuttavat toisaalta sähköveturin käytön avulla saavutettavat säästöt ja toisaalta veturin vaihdosta aiheutuvat kustannukset.

Veturin vaihdon kustannukset voidaan arvioida vaihtoon kuluvaan ajan ja vaihtoon sitoutuvien resurssien perusteella. Vaihtotyö sitoo molemmat veturit, niiden kuljettajat,

vedettävät vaunut ja yhden ratapihatyöntekijän keskimäärin noin 40 minuutin ajaksi. Näillä perusteilla raskaan dieselveturin (3000 kW) ja sähköveturin välisen vaihdon kustannukset ovat ilman vaunujen pääomakustannuksia 291 euroa (vastaava kustannus raskaan 2000 kW dieselveturin osalta on 283 euroa ja keskiraskaan dieselveturin osalta on 270 euroa). Vaunun pääomakustannus veturin vaihdon ajalta on 1,2 euroa. Esimerkiksi 20 vaunun mittaisen junan veturin vaihdosta (dieselveturi 3000 kW ja sähköveturi) aiheutuvat kustannukset ovat 315 euroa. Olettaen, että veturin keskinopeus on 70 km/h, on veturin vaihto kannattavaa, jos sähköveturia voidaan hyödyntää vähintään noin 95 kilometrin matkalla. Tämä kannattavuusraja on aina tapauskohtainen ja on riippuvainen mm. veturin kierron järjestämismahdollisuuksista ja junan keskinopeudesta.

#### 3.4.4 Yleiskustannukset

Tavaraliikenteen yleiskustannukset sisältävät mm. hallinnon, suunnittelun, markkinoinnin ja myynnin, toimitilojen ylläpidon sekä vakuutusten kustannukset. Tavarajunien yleiskustannuksiksi arvioidaan 15 % kaikkien aika- ja matkaperusteisten kustannusten ja vaihtotöiden kustannusten summasta.

## 3.5 Kustannusmallit

#### 3.5.1 Kustannukset ilman veroja ja maksuja

Tavarajunien yksikkökustannukset matka-aikaa kohti on esitetty taulukossa 13 ja matkan pituutta kohti taulukossa 14. Taulukoissa on esitetty myös lisäveturia koskevat yksikkökustannukset, joita käytetään, kun junassa on yhden veturin asemasta 2 tai 3 veturia. Yksikkökustannuksiin sisältyvät yleiskustannukset.

*Taulukko 13. Tavarajunien yksikkökustannukset veturin ja vaunun matkatuntia kohti, ei sisällä vaihtotyön kustannusta (v. 2012 kustannustaso).*

Veturi/vaunu	(€/h)
Sähköveturi	
• 1. veturi	235
• 2. ja 3. veturi	122
Keskiraskas dieselveturi, 1000 kW	
• 1. veturi	178
• 2. ja 3. veturi	65
Raskas dieselveturi, 2000 kW	
• 1. veturi	199
• 2. ja 3. veturi	87
Raskas dieselveturi, 3000 kW	
• 1. veturi	214
• 2. ja 3. veturi	102
Vaunu	2,05

*Taulukko 14. Tavarajunien yksikkökustannukset junan ja vaunun matkakilometriä kohti, ei sisällä vaihtotyön kustannusta (v. 2012 kustannustaso).*

Veturi/vaunu	(€/km)
Sähköveturi (1 veturi)	
• 1. veturi	1,39
• 2. ja 3. veturi	1,39
Keskiraskas dieselveturi, 1000 kW	
• 1. veturi	2,39
• 2. veturi	2,39
Raskas dieselveturi, 2000 kW	
• 1. veturi	3,27
• 2. ja 3. veturi	3,27
Raskas dieselveturi, 3000 kW	
• 1. veturi	3,67
• 2. ja 3. veturi	3,67
Vaunu, sähköveto	0,10
Vaunu, dieselveto (1000 kW)	0,15
Vaunu, dieselveto (2000 kW)	0,15
Vaunu, dieselveto (3000 kW)	0,16

Taulukossa 15 on esitetty vaihtotyön kustannukset vaunujen järjestelyjen ja veturien vaihdon osalta.

*Taulukko 15. Vaihtotyön yksikkökustannukset (v. 2012 kustannustaso).*

Veturi/vaunu	Kustannus
Vaunujen järjestely	
• vaunuryhmä	190 €/vaihtotyötapahtuma
• vaunu	19 €/vaihdettu vaunu <sup>*</sup>
• vaunu	0,29 €/vaunu-km <sup>*</sup>
Veturin vaihto	
• sähköveturi/1000 kW dieselveturi	310 €/vaihto
• sähköveturi/ 2000 kW dieselveturi	325 €/vaihto
• sähköveturi/ 3000 kW dieselveturi	335 €/vaihto
• vaunu	1,37 €/vaunu/vaihto

<sup>\*</sup> vaihtoehtoisia yksikkökustannuksia (vaunuryhmän koko on 10 vaunua), jotka eivät sisällä mahdollista vaihtotyön odotusajan aiheuttamaa vaunun pääomakustannusta

### 3.5.2 Tavarajunaliikenteen verot ja maksut

Tavarajunaliikenteeltä perittäviä liikenteen erityisveroja ja maksuja ovat polttonesteen hintaan sisältyvä valmistevero sekä ratamaksu. Verojen ja maksujen suuruus on matkan pituudesta riippuvia kustannuksia, joiden kustannusvaikutuksen yksikkönä voidaan käyttää [€/km]. Ratamaksua peritään vain linjaliikenteeltä.

Polttomoottorikäyttöisten henkilöjunien polttonesteen hinnassa on erilaisia valmisteveroja yhteensä 18,7 senttiä/litra. Tavaraliikenteeltä perittävän ratamaksun perus-



osan suuruus on 0,1350 senttiä/bruttotonnikilometri ja ratavero sähkövetoiselta liikenteeltä 0,05 senttiä ja dieselvetoiselta 0,1 senttiä bruttotonnikilometriä kohti. Verojen ja maksujen aiheuttamat kustannukset junatyyppejen perusyksikköä ja lisäyksikköä kohti on esitetty taulukossa 16.

*Taulukko 16. Tavarajunien keskimääräinen ratamaksu ja keskimääräinen polttoaineen valmistevero veturi- ja vaunukilometriä kohti (v. 2012 kustannustaso).*

Veturi/vaunu	Ratamaksut (€/km)	Polttoaineverot (€/km)	Yhteensä (€/km)
Sähköveturi	0,15	0,00	0,15
Keskiraskas dieselveturi, 1000 kW	0,15	0,28	0,43
Raskas dieselveturi, 2000 kW	0,21	0,42	0,63
Raskas dieselveturi, 3000 kW	0,21	0,48	0,69
Vaunu, sähköveturijunat	0,10	0,00	0,10
Vaunu, dieselveturijunat	0,13	0,03	0,16

## 4 Mallien käyttö

### 4.1 Henkilöliikenne

#### 4.1.1 Tarvittavat lähtötiedot

Henkilöjunien liikennöintikustannusten määrittämisen lähtökohtana tarvitaan tarkasteltavan rataosan pituus, junatarjonta (junatyypikohtaiset vuorojen määrät), junien pituutta kuvaavat perusyksiköiden ja lisäyksiköiden määrät sekä suunnitteluun perustuvat junien matka-ajat junatyypeittäin. Yksityiskohtaista laskentaa varten junatarjontatiedot tarvitaan erikseen eri liikennekausien sekä arkipäivä- ja viikonloppuliikenteen osalta (esimerkki 1).

#### Esimerkki 1: Junatarjontataulukon laatiminen liikennöintikustannusten arviointia varten.

Tarkastellaan rataosaa, jonka pituus on 78 km ja jolla suurin sallittu henkilöjunien nopeus on 140 km/h. Rataosalla liikennöidään sähköveturivetoisilla IC-junilla, nopeilla kotimaan liikenteen junilla ja taajamajunilla. Rataosan arkipäivän junatarjonta (molemmat suunnat yhteensä) muodostuu 20 IC-junasta, 6 nopeasta junasta ja 16 taajamajunasta. Veturivetoisten IC-junien vaunumäärä ja moottorivaunukaluston yksiköiden määrät jakautuvat taulukon mukaisesti.

Junatarjonta perusyksiköittäin ja lisäyksiköittäin on seuraava:

Junatyyppi	vuorot kpl/vrk	perusyksiköt kpl/vrk	lisäyksiköt kpl/vrk	Matka-aika h
<b>IC-junat</b>				
6 vaunun junat	8	8	24	0,71
4 vaunun junat	12	12	12	0,71
<b>Nopeat junat, kotimaa</b>				
2 yksikön junat	2	2	2	0,68
1 yksikön junat	4	4	0	0,68
<b>Taajamajunat</b>				
2 yksikön junat	4	4	4	0,87
1 yksikön junat	12	12	0	0,87

#### 4.1.2 Esimerkkejä mallien käytöstä

Seuraavassa on esitetty kaksi esimerkkiä henkilöjunien liikennöintikustannusten arvioinnista yksikkökustannusten avulla.

##### Esimerkki 2: Rataosan junatarjonnan kustannukset

Tarkastellaan edellisessä luvussa esitetyn rataosan arkipäivän junatarjonnan kustannuksia. Liikennöintikustannusten arviointia varten lasketaan vuorokauden junatyypikohtaiset aika- ja kilometrisuoritteet perusyksiköille ja lisäyksiköille esimerkin 1 junatarjonnan mukaisesti. Tämän jälkeen aika- ja kilometrisuoritteet kerrotaan junatyypikohtaisilla yksikkökustannuksilla.

Aikaperusteiset kustannukset ovat seuraavat:

Junatyyppi	Aikasuorite		Yksikkökustannukset		Kustannukset €/vrk
	Perusyksiköt h/vrk	Lisäyksiköt h/vrk	Perusyksiköt €/h	Lisäyksiköt €/h	
IC-junat					
6 vaunun junat	5,67	5,67	525	93	3 506
4 vaunun junat	8,51	8,51	525	93	5 259
Nopeat junat					
2 yksikön junat	1,30	1,30	866	769	2 126
1 yksikön junat	2,60	2,60	866	769	4 252
Taajamajunat					
2 yksikön junat	3,47	3,47	344	176	1 803
1 yksikön junat	10,40	10,40	344	176	5 408
<b>Yhteensä</b>					<b>22 353</b>

Kilometriperusteiset kustannukset ovat seuraavat:

Junatyyppi	Kilometrisuorite		Yksikkökustannukset		Kustannukset €/vrk
	Perusyksiköt km/vrk	Lisäyksiköt km/vrk	Perusyksiköt €/km	Lisäyksiköt €/km	
IC-junat					
6 vaunun junat	624	1872	3,5	0,7	3 519
4 vaunun junat	936	936	3,5	0,7	3 961
Nopeat junat					
2 yksikön junat	156	156	5,3	5,3	1 665
1 yksikön junat	312	0	5,3	5,3	1 665
Taajamajunat					
2 yksikön junat	312	312	2,4	2,4	1 480
1 yksikön junat	936	0	2,4	2,4	2 220
<b>Yhteensä</b>					<b>14 511</b>

Esimerkin mukaiset liikennöintikustannukset ovat **yhteensä 36 864 €/vrk**.

### Esimerkki 3: Matka-ajan lyhenemisen vaikutusten arviointi

Tarkastellaan edellä esitetyn rataosalla tehtävien junien matka-aikaa lyhentävien investointien aikakustannusvaikutuksia. Matka-aika lyhenee kaikkien junien osalta 4 minuutta (0,07 h). Rataosalla on ainoastaan taajajunien liikennepaikkoja, joiden keskimääräinen väli on 26 km.

#### Aikaperusteisten kustannusten muutos

Matka-ajan lyhenemisen vaikutus arkivuorokauden liikennöintikustannuksiin saadaan arvioimalla junatyypeittäin aikasuoritteiden muutokset (h/vrk) ja kertomalla ne vastaavilla ajan yksikkökustannuksilla (€/h).

Aikasuoritteiden muutokset ja niiden aiheuttamat kustannukset ovat matkan nopeutuksen jälkeen seuraavat:

Junatyyppi	Aikasuoritteiden muutos		Yksikkökustannukset		Kustannukset €/vrk
	Perusyksiköt h/vrk	Lisäyksiköt h/vrk	Perusyksiköt €/h	Lisäyksiköt €/h	
IC-junat					
6 vaunun junat	0,53	1,60	525	93	429
4 vaunun junat	0,80	0,80	525	93	94
Nopeat junat					
2 yksikön junat	0,13	0,13	866	769	218
1 yksikön junat	0,27	0,00	866	769	231
Taajamajunat					
2 yksikön junat	0,27	0,13	344	176	139
1 yksikön junat	0,80	0,00	344	176	275
<b>Yhteensä</b>					<b>1 786</b>

Junaliikenteen nopeutuksen avulla saavutettavat aikasäästöt ovat 1786 €/vrk.

#### Energiakustannusten muutos

Junien nopeuden kasvu aiheuttaa lisäksi muutoksia junien energiankulutuksessa. Kulutuksen muutokset arvioidaan junien keskinopeuden muutoksen perusteella. IC-junien keskinopeus nousee 110 km:sta/h noin 120 km:iin/h, nopeiden junien 120 km:sta/h noin 130 km:iin/h ja taajamajunien 90 km:sta/h noin 100 km:iin/h.

Liitteen 1 taulukoista nähdään, että 6 vaunua käsittävien IC-junien energian kulutus kasvaa 2 kWh/km, 4 vaunua käsittävien IC-junien 2 kWh/km ja nopeiden junien yksiköiden noin 1 kWh/km. Taajamajunien kulutus ei muutu lainkaan. Junien energiankulutuksen kokonaismuutos saadaan kertomalla em. IC-junien kulutuksen muutosarvot (kWh/km) junien kilometrisuoritteilla (km/vrk) ja vastaavasti nopeiden junien kulutuksen muutosarvot (kWh/km) junayksiköiden (=perusyksiköt ja lisäyksiköt) kilometrisuoritteilla (km/vrk). Energiankulutuksen muutoksen aiheuttama kustannus saadaan kertomalla kulutusmuutos (kWh/vrk) sähkön hinnalla (0,06 €/kWh).

Energiankulutuksen ja kustannusten muutokset ovat seuraavat:

Junatyyppi	kulutus- muutos kWh/km	suorite km/vrk	kulutus- muutos (kWh/vrk)	kustannus- muutos (€/vrk)
IC-junat				
6 vaunun junat	2	624	1 248	75
4 vaunun junat	4	936	1 872	112
Nopeat junat, kotimaa				
2 yksikön junat	1	312	156	9
1 yksikön junat	1	312	312	10
Taajamajunat				
2 yksikön junat	-	624	-	-
1 yksikön junat	-	936	-	-
<b>Yhteensä</b>			<b>3 588</b>	<b>215</b>

Junien energiankulutus kasvaa yhteensä 3518 kWh/vrk ja energiakustannukset 215 €/vrk.

#### Kokonaisvaikutus

Junien nopeus vähentää liikennöintikustannuksia yhteensä **1573 €/vrk** (=1788 €-215 €).

## 4.2 Tavaraliikenne

### 4.2.1 Junatarjonnan määrittäminen

Hankearvioinneissa junatarjonta määritetään pääsääntöisesti nettotonniennusteiden pohjalta, eikä esimerkiksi vakio-aikataulurakenteeseen suunniteltujen aikatauluvarausten perusteella. Junien määräarvioissa on lähtökohtana, että paluusuunnassa vaunut ovat aina ilman lastia. Rataosan vuotuinen junatarjonta (junaparien määrä) saadaan jakamalla ennustettu vuotuinen nettotonnimäärä junien keskimääräisillä nettojunapainoilla, ellei poikkeavien junapainojen käyttöä voida luotettavasti perustella. Molempien kulkusuuntien junamäärien summa saadaan kertomalla junaparien määrä kahdella.

Yleisenä pyrkimyksenä on hyödyntää veturin maksimaalista vetokykyä, mikä sähköveturin ja raskaan dieselveturin osalta tarkoittaa noin 2000 tonnin bruttopainoa, jolloin nettopaino on 1350–1400 tonnia (lähtökohtana on, että sähköistämättömällä rataosalla käytetään liikennöintikustannusten kannalta optimaalista veturikalustoa). Veturin maksimivetokykyä ei voida kuitenkaan aina hyödyntää tavaravirtojen ohuuden ja frekvenssivaatimusten vuoksi. Tavoitteeseen päästään parhaiten itäisessä yhdysliikenteessä, jossa junia joudutaan yleensä lyhentämään rajanylityspaikalla Venäjän junapituuksille riittämättömien liikennepaikkojen raidepituuksien vuoksi. On myös huomattava, että kotimaan liikenteen markkinoille voi tulla uusia rautatieyrityksiä, joiden toimintatavat vaikuttavat myös junapainojen kehitykseen.

Seuraavassa on esitetty nykyisiin raidepituuksiin perustuvia kuormasuunnan nettopainoja ja junakokoonpanoja, joita voidaan hyödyntää junamäärien ennustamisessa, kun tarkempaa tietoa ei ole käytettävissä:

- kotimaan junat keskimäärin: 1150 nettotonnia = 1 sähköveturi /raskas dieselveturi + 19 vaunua (junan bruttopaino noin 1650 tonnia)
- kotimaan raakapuujuna (terminaalikuljetus): 1300 nettotonnia = 1 sähköveturi /raskas dieselveturi + 24 vaunua (junan bruttopaino noin 1900 tonnia)
- Vartius–Oulu (rikastekuljetukset): 3900 nettotonnia = 2 sähköveturia + 60 vaunua (junan bruttopaino noin 5560 tonnia)

#### 4.2.2 Esimerkkejä mallien käytöstä

##### Esimerkki 1: Liikennöintikustannusten laskeminen

Seuraavassa tarkastellaan sähköistämätöntä rataosaa (pituus 180 km). Rataosan vuotuinen kuljetusmäärä on 2,4 milj. tonnia, joista 0,6 milj. tonnia on raakapuun kuljetuksia, 1,2 milj. tonnia rikastekuljetuksia ja 0,6 milj. tonnia sekalaisen tavaroiden kuljetuksia.

Raakapuu kuljetuksissa käytettävän junan nettopaino kuormasuunnassa on 1320 tonnia (24 vaunua, joiden keskimääräinen lasti on 55 tonnia), rikastekuljetuksissa 2795 tonnia (43 vaunua, joiden keskimääräinen lasti on 65 tonnia) ja sekalaisissa kuljetuksissa 1320 tonnia (22 vaunua, joiden keskimääräinen lasti on 85 tonnia). Junien keskinopeus on 50 km/h ja matka-aika 3,6 tuntia.

##### Junamäärien arviointi

Rataosan vuotuiset junamäärät (molemmat suunnat yhteensä) lasketaan seuraavasti:  
 $\text{junamäärä (juna/v)} = 2 \text{ (molemmat suunnat)} * \text{kuljetusmäärä (t/v)} / \text{junan nettopaino (t)}$

Junamäärät ovat seuraavat:

Junat/tavaralaji	Kuljetusmäärä t/v	Junan nettopaino t	Junamäärä kpl/v
Raakapuu	600 000	1 320	909
Rikaste	1 200 000	2 795	859
Sekalaiset	600 000	1 320	909

##### Suoritteiden arviointi

Rataosan vuotuiset tunti- ja kilometrisuoritteet lasketaan seuraavasti:

- $\text{veturitunnit/v} = \text{junien määrä/v} * \text{veturien määrä/juna} * \text{matka-aika (h)}$
- $\text{vaunutunnit/v} = \text{junien määrä/v} * \text{vaunujen määrä/juna} * \text{matka-aika (h)}$
- $\text{veturikilometrit/v} = \text{junien määrä/v} * \text{veturien määrä/juna} * \text{matkan pituus (km)}$
- $\text{vaunukilometrit/v} = \text{junien määrä/v} * \text{vaunujen määrä/juna} * \text{matkan pituus (km)}$

Junien tunti- ja kilometrisuoritteet ovat seuraavat:

Junat/tavaralaji	veturi-h/v	vaunu-h/v	veturi-km/v	vaunu-km/v
Raakapuu	3 273	78 545	163 636	3 927 273
Rikaste	6 182	132 923	309 123	6 646 154
Sekalaiset	3 273	72 000	163 636	3 600 000

### Liikennöintikustannusten määrittäminen

Suoritteita vastaavat yksikkökustannukset saadaan taulukoista 13 ja 14. Raskaan dieselveturin tehoksi oletetaan 2000 kW. Yksikkökustannukset ovat seuraavat:

Junat/tavaralaji	€/veturi-tunti	€/vaunu-tunti	€/veturi-km	€/vaunu-km
Raakapuu	199	2,05	3,27	0,15
Rikaste	*143	2,05	3,27	0,15
Sekalaiset	199	2,05	3,27	0,15

\*) Keskimääräinen veturikustannus. Rikastekuljetuksissa on 2 dieselveturia/juna, joista 1. veturin kustannus on 199 €/h ja 2. veturin 87 €/h.

Rataosan vuotuiset liikennöintikustannukset saadaan kertomalla suoritteet niitä vastaavilla yksikkökustannuksilla.

Liikennöintikustannukset (ilman ratamaksua ja polttoaineen valmisteveroja) ovat seuraavat:

Junat/tavaralaji	Kustannukset €/vuosi
Raakapuu	1 926 105
Rikasteet	3 145 639
Sekalaiset	1 864 570
<b>Yhteensä</b>	<b>6 936 314</b>

### Ratamaksun määrän ja polttoaineen valmisteverojen arviointi

Kuljetuksista perittävä ratamaksu ja dieselpolttonesteen valmisteverot voidaan laskea veturi- ja vaunukilometrien ja taulukon 16 yksikkökustannusten (verot ja maksut kilometriä kohti) perusteella seuraavasti:

Ratamaksu ja polttoaineen valmistevero = veturikilometrit \* ratamaksun ja polttoaineen valmisteveron osuus veturikilometriä kohti + vaunukilometrit \* ratamaksun ja polttoaineen valmisteverojen osuus vaunukilometriä kohti =  $(163\,636 + 309\,123 + 163\,636)$  veturi-km \* 0,63 €/veturi-km +  $(3\,927\,273 + 6\,646\,154 + 3\,600\,000)$  vaunu-km \* 0,16 €/vaunu-km = **2 668 678 €/vuosi**.

### **Esimerkki 2. Radan sähköistys**

Tarkastellaan esimerkin 1 rataosan sähköistämisen vaikutuksia. Esimerkin 1 mukaisessa vertailuvaihtoehdossa dieselvetureita käytetään koko kuljetusmatkalla, joka käsittää sähköistettävän rataosan lisäksi 40 kilometriä jo sähköistettyä rataa, jolla junien keskinopeus on 50 km/h. Sähköistyksen hyöty saavutetaan siten 220 kilometrin matkalla. Vertailuvaihtoehdossa veturia ei vaihdeta 40 kilometrin matkaa varten, koska veturin vaihdosta aiheutuvat kustannukset olisivat suuremmat kuin sähköveturin käytöllä 40 kilometrin matkalla saavutettavat hyödyt.

### Suoritteiden arviointi

Sähköistyksestä hyötyvät tunti- ja kilometrisuoritteet 220 kilometrin matkalla saadaan samaan tapaan kuin esimerkissä 1, ottaen huomioon kuljetukseen sisältyvän 40 kilometrin matka sähköistettävän rataosan ulkopuolella. Suoritteet ovat seuraavat:

Junat/tavaralaji	veturi-h/v	vaunu-h/v	veturi-km/v	vaunu-km/v
Raakapuu	4 000	96 000	200 000	4 800 000
Rikaste	7 556	181 352	377 818	9 067 621
Sekalaiset	4 000	88 000	200 000	4 400 000
<b>Yhteensä</b>	<b>15 556</b>	<b>365 352</b>	<b>777 818</b>	<b>18 267 621</b>

Liikennöintikustannussäästöjen arviointi

Koska aika- ja kilometrisuoritteet ovat riippumattomia käytettävästä vetokalustosta, saadaan sähköistyksen hyöty laskettua kertomalla suoritteet niitä vastaavien dieselveturivetoisen junan ja sähköveturivetoisen junan yksikkökustannusten erotuksilla. Yksikkökustannusten erotukset ovat taulukoiden 13 ja 14 perustella seuraavat:

Junat/tavaralaji	€/veturi-tunti	€/vaunu-tunti	€/juna-km	€/vaunu-km
Raakapuu	-36	0,00	1,88	0,05
Rikaste	*)-36	0,00	1,88	0,05
Sekalaiset	-36	0,00	1,88	0,05

\*) Keskimääräinen yhden dieselveturin ja yhden sähköveturin kustannusten erotus, kun junassa on 2 veturia.

Sähköistyksellä saavutettavat liikennöintikustannussäästöt saadaan kertomalla hyötyvät suoritteet edellä esitetyillä yksikkökustannusten erotuksilla. Saavutettavat säästöt ovat seuraavat:

Junat/tavaralaji	Säästöt (€/v)
Raakapuu	457 464
Rikasteet	864 190
Sekalaiset	438 721
<b>Yhteensä</b>	<b>1 760 375</b>

Ratamaksujen ja polttoaineen valmisteverojen arviointi

Ratamaksujen ja polttoaineverojen määrien muutos voidaan arvioida esimerkin 1 tapaan käyttäen taulukossa 16 esitettyjä yksikkökustannuksia.

Ratamaksujen ja polttoaineverojen määrä/ dieselveto =  $(200\ 000 + 377\ 818 + 200\ 000)$  veturi-km \* 0,63 €/veturi-km +  $(4\ 800\ 000 + 9\ 067\ 621 + 4\ 400\ 000)$  vaunu-km \* 0,16 €/vaunu-km = **3 412 844 €/vuosi.**

Ratamaksujen määrä/ sähköveto =  $(200\ 000 + 377\ 818 + 200\ 000)$  veturi-km \* 0,15 €/veturi-km +  $(4\ 800\ 000 + 9\ 067\ 621 + 4\ 400\ 000)$  vaunu-km \* 0,10 €/vaunu-km = **1 943 435 €/vuosi.**

Ratamaksujen ja polttoaineverojen määrien vähenemä =  $3\ 412\ 814 - 1\ 943\ 435 =$  **1 469 410 €/vuosi.**



#### Esimerkki 4: Akselipainon nosto

Tarkastellaan edelleen esimerkissä 3 tarkasteltavana ollutta sähköistettyä rataosaa, jonka akselipainorajoitus on 22,5 tonnia. Rataosan kuljetukset ovat esimerkin 2 mukaiset. Rataosan akselipaino nostetaan radan kantavuutta parantavilla toimenpiteillä 25 tonniin, jolloin kuljetukset voivat hyödyntää korkeampaa akselipainoa koko 220 km:n matkalla.

#### Vaikutukset junien painoihin ja kokoonpanoihin

Akselipainon korotus voidaan hyödyntää rikastekuljetuksissa ja sekaisten tavaroiden kuljetuksissa.

Rikastekuljetuksissa vaunukalusto ja tavarain ominaisuudet mahdollistavat lastin määrän kasvattamisen 10 tonnilla 75 tonniin, jolloin vaunun kokonaispainoksi tulee 100 tonnia. Ennen akselipainon nostoa rikastejunien vaunumäärä ja kokonaispaino ( $4036 \text{ t} = 2 \cdot 83 \text{ t} + 43 \cdot 90 \text{ t}$ ) oli mitoitettu sellaiseksi, että veturin vetokyky tulee kokonaan hyödynnetyksi. Vaunujen kokonaispainon kasvaessa 10 tonnilla, on vaunujen määrää vähennettävä 43:sta 39:ään, jolloin junan kokonaispaino on 4 066 tonnia ( $= 2 \cdot 83 \text{ t} + 39 \cdot 100 \text{ t}$ ). Junan lastimäärä muutoksen jälkeen on 2 925 tonnia ( $= 39 \cdot 75 \text{ tonnia}$ ).

Sekalaisten tavaroiden kuljetuksissa vaunun maksimipainoa ei voida hyödyntää täysimääräisesti tavaroiden ominaisuuksien vuoksi. Vaunun keskimääräistä lastia voidaan kasvattaa kuitenkin 60 tonnista noin 65 tonniin, jolloin vaunujen keskimääräinen kokonaispaino kasvaa noin 85 tonnista noin 90 tonniin. Junien lastimäärää ei kuitenkaan voida kasvattaa 1320 tonnista, koska kuljetukset ovat sidoksissa teollisuuden tuotantoprosesseihin, joissa junan lähtöfrekvenssin on oltava tietyn suuruinen. Sekalaisten tavaroiden junissa vaunutarve on akselipainon noston jälkeen 21 vaunua eli yksi vaunu vähemmän kuin ennen akselipainon nostoa ( $1320 \text{ tonnia} / 65 \text{ tonnia} = 20,3 \text{ vaunua} \rightarrow 21 \text{ vaunua}$ ).

#### Ennen -tilanteen mukaiset suoritteet

Junien tunti- ja kilometrisuoritteet ovat ennen akselipainon korotusta esimerkin 3 mukaisesti seuraavat:

Junat/tavaralaji	veturi-h/v	vaunu-h/v	veturi-km/v	vaunu-km/v
Raakapuu	4 000	96 000	200 000	4 800 000
Rikaste	7 556	181 352	377 818	9 067 621
Sekalaiset	4 000	88 000	200 000	4 400 000
<b>Yhteensä</b>	<b>15 556</b>	<b>365 352</b>	<b>777 818</b>	<b>18 267 621</b>

#### Jälkeen -tilanteen mukaiset suoritteet

Rikastekuljetusten vuotuiset junamäärät vähenevät lastimäärien kasvun vuoksi. Muiden junien määrät pysyvät ennallaan. Junamäärät ovat:

Junat/tavaralaji	Kuljetusmäärä t/v	Junan nettopaino t/juna	Junamäärä kpl/v
Raakapuu	600 000	1 320	909
Rikaste	1 200 000	2 925	821
Sekalaiset	600 000	1 320	909

Rikastekuljetusten määrämuutoksen sekä rikastejunien ja sekalaisten junien kokoonpanomuutosten jälkeen tunti- ja kilometrisuoritteet ovat:

Junat/tavaralaji	veturi-h/v	vaunu-h/v	veturi-km/v	vaunu-km/v
Raakapuu	4 000	96 000	200 000	4 400 000
Rikaste	7 221	140 800	361 026	7 040 000
Sekalaiset	4 000	84 000	200 000	4 200 000
<b>Yhtensä</b>	<b>15 221</b>	<b>320 800</b>	<b>761 026</b>	<b>16 040 000</b>

#### Suoritemuutokset ja niiden aiheuttamat kustannusvaikutukset

Akselipainon noston vuoksi junien tunti- ja kilometrisuoritteet vähenevät seuraavasti:

Junat/tavaralaji	veturi-h/v	vaunu-h/v	veturi-km/v	vaunu-km/v
Raakapuu	0	0	0	0
Rikaste	336	40 552	16 792	2 027 621
Sekalaiset	0	4 000	0	200 000
<b>Yhteensä</b>	<b>336</b>	<b>44 552</b>	<b>16 792</b>	<b>2 227 621</b>

Junien liikennöintikustannusten muutos lasketaan sähköveturivetoisten junien yksikkökustannuksia käyttäen, jotka ovat:

Sähkövedon yksikkökustannukset:

Junat/tavaralaji	€/veturi-tunti	€/vaunu-tunti	€/juna-km	€/vaunu-km
Raakapuu	235	2,05	1,39	0,10
Rikaste	<sup>*)</sup> 179	2,05	1,39	0,10
Sekalaiset	235	2,05	1,39	0,10

<sup>\*)</sup> Keskimääräinen veturikustannus. Rikasteiden kuljetuksissa on 2 sähköveturia/juna, joista 1. veturin kustannus on 235 €/h ja 2. veturin 122 €/h.

Liikennöintikustannusten säästö saadaan kertomalla vähenevät suoritteet sähkövedon yksikkökustannuksilla. Säästöt ovat seuraavat:

Junat/tavaralaji	Säästö (€/v)
Raakapuu	0
Rikasteet	369 503
Sekalaiset	28 233
<b>Yhteensä</b>	<b>397 736</b>

#### Ratamaksujen muutos

Akselipainon nosto vaikuttaa ratamaksuihin rikastekuljetusten ja sekaisten tavaroiden kuljetusten bruttotonnikilometrejä koskevan muutoksen vuoksi. Ratamaksujen muutos voidaan laskea joko suoraan bruttotonnikilometrejä koskevan muutoksen ja ratamaksujen määräytymisperusteiden perusteella (suositeltava menetelmä) tai taulukossa 16 esitettyjen arvojen (€/veturi-km ja €/vaunu-km) perusteella.

**Esimerkki 5. Tavarajunien ei-kaupallisten pysähdysten aiheuttamat energiakustannukset**

Tarkastellaan rataosaa, jossa sähköveturin vetämät tavarajunat joutuvat pysähtymään kohtausraiteille toisten junien kohtaamista varten. Pysähtymään joutuvien junien kokonaispainot, pysähdysten määrät ja nopeustasot ovat seuraavat:

- juna1: kokonaispaino 2000 tonnia, pysähdyksiä 300 kpl/vuosi, nopeustaso 60 km/h
- juna 2: kokonaispaino 630 tonnia, pysähdyksiä 300 kpl/vuosi, nopeustaso 70 km/h.

Liitteen 1 taulukosta 6 nähdään, että ei-kaupallinen pysähdys lisää 2000 tonnia painavan junan energiankulutusta 45 kWh ja 630 tonnia painavan junan energiankulutusta 9 kWh. Junien energiankulutus kasvaa siten yhteensä 16 200 kWh/vuosi ( $=300 \cdot 45 + 300 \cdot 9$ ), josta aiheutuva lisäkustannus on 972 euroa/vuosi (sähkön hinta: 6 senttiä/kWh). Lisäksi ei-kaupalliset pysähdykset lisäävät junien aikaperusteisia kustannuksia matka-ajan pidentymisen vuoksi.

## 5 Mallien arviointia ja pohdintaa

Tavaraliikenteen liikennöintikustannusmalleja arvioitiin vertailemalla malleilla laskettuja kustannuksia tiedossa olleisiin rahtihintoihin. Vertailutietona käytettiin mm. Metsätehon tietoja raakapuukuljetusten rahdeista (Metsäteho, 2012). Vertailujen perusteella liikennöintikustannusmallien mukaiset kustannukset vastaavat todellista rahtitasoa, kun otetaan huomioon myös rahtihintoihin sisältyvät liikenteen erityisverot ja maksut sekä liikennöitsijän kate.

Pitkämatkaisen henkilöjunaliikenteen osalta vastaavia vertailuhintoja ei ollut käytettävissä. Sen sijaan lähiliikenteestä oli käytettävissä Helsingin seudun liikenteen Pääkaupunkiseudun lähiliikenteen korvauksiin perustuvat joukkoliikenteen yksikkökustannukset (HSL, 2012). Vuonna 2011 maksetut lähijunaliikenteen korvaukset ovat huomattavasti pienempiä kuin laaditun liikennöintikustannusmallin mukaiset kustannukset. Ero selittynee merkittävältä osin käytössä olevalla vanhalla kalustolla. Nykyisin vain pieni osa vuoroista ajetaan laskentamallin lähtökohtana olleella Flirt-junilla. Flirt-junat vuokraa operaattorille Pääkaupunkiseudun junakalustoyhtiö, joka vastaa myös kaluston kunnossapidosta. Nämä korvaukset eivät sisälly HSL:n julkaisemiin yksikkökustannuksiin. Henkilöjunien liikennöintikustannusmallien mukaan IC-junien, kotimaan nopeiden junien ja taajamajunien kustannukset ilman liikenteen veroja ja maksuja ovat junakilometriä kohti keskimäärin 20–35 % korkeammat kuin vuonna 2004 laaditussa ratainvestointien hankearviointiohjeessa esitetyt kilometrikustannukset. Ero vastaa melko hyvin yleistä kustannustason nousua.

Liikennöintikustannusmallien yksikkökustannuksiin liittyvät suurimmat epävarmuustekijät koskevat junakaluston kunnossapitokustannuksia sekä henkilöjunaliikenteen käyttövarmuushuollon kustannuksia. Näitä koskevat kustannukset perustuvat kokonaan ulkomaisiin selvityksiin, koska luotettavia tilastoihin tai selvityksiin perustuvia lähtötietoja Suomesta ei ole saatavissa.

Tietopuutteeksi osoittautuivat myös energiakustannusten lähtökohtana tarvittavat tiedot Suomessa käytettävän uuden junakaluston energiakulutuksesta sekä erityisesti junien energiankulutukseen vaikuttavista tekijöistä. Tämän vuoksi työn aikana tehtiin lukuisia erityyppisten junien energiankulutusta koskevia simulointeja, joiden pohjalta voitiin laatia energiankulutusta koskevat matemaattiset mallit. Mallien muuttujina olivat junan nopeus, junan massa ja henkilöjunaliikenteessä myös liikennepaikkaväli. Simulointien luotettavuus voitiin todeta Liikenneviraston tekemien henkilö- ja tavarajunien energiankulutusmittausten ja kansainvälisten tutkimusten perusteella. Näiden selvitysten pohjalta todettiin, että sähköveturin vetämän tavarajunan energiankulutus on jopa 3–4 kertaa suurempi kuin mitä LIPASTO-järjestelmässä on esitetty. Vaikka pahimmat energiankulutusta koskevat tietopuutteet tuli tämän selvityksen yhteydessä poistettua, tulee energiankulutuksen tutkimista jatkaa. Lisätietoja tarvitaan mm. radan pituuskaltevuuden ja liikenteen häiriöiden vaikutuksista.

Laaditut liikennöintikustannusmallit selkeyttävät merkittävästi ratainvestointien liikennöintikustannusvaikutusten arviointia ja parantavat arvioiden luotettavuutta ja läpinäkyvyyttä. Aikaisemmin liikennöintikustannusten arviointimenetelmät ovat olleet varsin kirjavia ja esimerkiksi Ruotsin Trafikverketin mallien soveltamisessa on todettu ongelmia. Erityisesti tavaraliikenteessä tärkeä tulosten luotettavuuteen liittyvä tekijä on hyötyvien junien ja niiden kokonpanojen määrittäminen. Tässä selvityk-

sessä esitetyn ohjeistuksen tarkoituksena on ollut yhtenäistää käytäntöä ja parantaa myös tällä tavalla arviointien luotettavuutta ja keskinäistä vertailukelpoisuutta.

Laaditut mallit soveltuvat erilaisten ratainvestointien vaikutusten arviointiin. Mallien avulla voidaan arvioida esimerkiksi junien nopeuden noston, sähköenergian käyttöön siirtymisen, tavarajunien ei-kaupallisiin pysähdysten vähentämisen, tavarajunien akselipainojen noston ja junapituuden kasvattamisen mahdollistaminen investointien vaikutuksia liikennöintikustannuksiin. Liikennöintikustannusmallit otetaan huomioon Liikenneviraston uudessa ratainvestointien arviointiohjeessa, joka julkaistaan keväällä 2013.

## Lähdeluettelo

Alstom, Karelian Trains, VR. Allegro-junan tekninen esite.  
<http://www.kareliantrains.fi/fi/index/allegro.html>

Alstom (2010). Transportin projekteja Suomessa. <http://www.alstom.com/fi/>.

ARTC, Melbourne–Brisbane Inland Rail Alignment Study. Working Paper No. 4: Preliminary Operating and Maintenance Cost Analysis.

Baumgartner, J. P (2001). Prices and costs in the railway sector. Ecole polytechnique federale de Lausanne.

Downer & ElectroMotive (2012). QR Network Draft Amending Access Undertaking (DAAU) for Electric Traction Services – Request for Further Comment on Draft Decision.

Flodström, E, Sjödin, Å (2005). Underlag för klassning av dieseldrivan järnvägsfordon. Svenska Miljöinstitutet. Rapport 2005:11 SM.

Fröidh, O (2012). Green Train Basis for a Scandinavian high-speed train concept. Final report, Part A. KTH Railway group. Publication 12-01.

Hovi, H. Suomen veturit ja moottorivaunut 2012.

HSL (2012). Joukkoliikenteen yksikkökustannukset 2011. HSL 16/2012.

Liikennevirasto (2012a). Suomen rautatietilasto 2012. Liikenneviraston tilastoja 4/2012.

Liikennevirasto (2012b). Verkkoselostus 2014. Liikenneviraston väylätietoja, 2/2012.

Lindgreen, E. Sorenson S (2005). Simulation of Energy Consumption and Emissions from Rail Traffic Evaluation. ARTEMIS Deliverable D 7a.

LIPASTO-laskentajärjestelmä, yksikköpäästöt.  
[http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/henkiloliikenne/raideliikenne/junat\\_henkilo.htm](http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/henkiloliikenne/raideliikenne/junat_henkilo.htm)

Martikainen, L., Hirn, E. Energia-avaimet sähkövetureiden energiankäytön laskutusta varten. Liikennevirasto. 20.12.2013.

Metsäteho (2012). Puunkorjuu ja kaukokuljetus vuonna 2011. Metsätehon katsaus nro 48/2012.

Stadler. Sm5 Energy Reporting 2012.

Transtech, Kiskokalusto. <http://www.transtech.fi>.

Tulli (2012). Energiaverotus. Asiakasohje 21, helmikuu 2012.

TÜV SÜD Rail GmbH. Braking Test Flirt Helsinki Sm5, Single and Multiple Tractive Mode.

VR. Tietoa junista. [http://www.vr.fi/fi/index/palvelut/tietoja\\_junista](http://www.vr.fi/fi/index/palvelut/tietoja_junista)

VTT (2012). Suomen rautatieliikenteen päästöjen laskentajärjestelmä, RAILI 2011. Nro VTT-R-03247-12.

Zanuy, C., Nelidal B., Boysen, H. (2012). Study on railway business for VEL-Wagon and target costs. VEL-Wagon Deliverable D 2.1.





*Taulukko 1. Sr2-veturin vetämän IC-junan energiankulutus eri vaunumäärillä (kaksikerroksinen vaunu), vaunumääriä vastaavilla junapainoilla ja eri keskinopeuksilla.*

vaunut (kpl)	massa <sup>(*)</sup> (t)	Kulutus (kWh/km)									
		70 km/h	80 km/h	90 km/h	100 km/h	110 km/h	120 km/h	130 km/h	140 km/h	150 km/h	160 km/h
3	257	8	8	9	10	11	12	14	16	19	22
4	315	9	9	10	11	12	14	16	19	23	27
5	373	10	11	11	13	14	16	19	22	27	32
6	431	11	12	13	14	16	18	22	26	31	37
7	489	12	13	14	16	18	21	24	29	34	41
8	547	13	14	15	17	20	23	27	32	38	46
9	605	14	15	17	19	21	25	29	35	42	51
10	663	16	17	18	20	23	27	32	38	46	56
11	721	17	18	19	22	25	29	35	41	50	61
12	779	18	19	21	23	27	31	37	45	54	65
13	837	19	20	22	25	28	33	40	48	57	70
14	895	20	21	23	26	30	35	42	51	62	75
15	953	21	22	25	28	32	38	45	54	65	80

<sup>(\*)</sup> junan massa on veturin ja kaksikerroksisten vaunujen bruttopainojen summa

*Taulukko 2. Keskiraskaan dieselveeturin (1000 kW) vetämän henkilöjunan energiankulutus eri vaunumäärillä (kaksikerroksinen vaunu), vaunumääriä vastaavilla junapainoilla ja eri keskinopeuksilla.*

vaunut (kpl)	massa <sup>(*)</sup> (t)	Kulutus (litraa/km)			
		60 km/h	70 km/h	80 km/h	90 km/h
3	239	1,5	1,6	1,8	2,0
4	297	1,7	1,9	2,1	2,3
5	355	1,9	2,1	2,3	2,6
6	413	2,2	2,4	2,6	3,0
7	471	2,4	2,6	2,9	3,3
8	529	2,6	2,9	3,2	3,7
9	587	2,8	3,1	3,5	4,1
10	645	3,0	3,4	3,9	-
11	703	3,3	3,7	-	-
12	761	3,5	-	-	-

<sup>(\*)</sup> junan massa on veturin ja kaksikerroksisten vaunujen bruttopainojen summa

*Taulukko 3. Nopeiden kotimaan (Pendolino) liikenteen junien energiankulutus liikennepaikkatiheyden ja keskinopeuden mukaan.*

liikennepaikkaväli (km)	Kulutus (kWh/km)							
	90 km/h	100 km/h	110 km/h	120 km/h	130 km/h	140 km/h	150 km/h	160 km/h
30	12,2	12,9	14,0	15,2	16,8	18,8	-	-
60	11,9	12,5	13,3	14,3	15,6	17,2	19,2	21,5
90	11,7	12,3	13,0	13,9	15,0	16,5	18,2	20,2
120	11,6	12,1	12,8	13,6	14,7	16,0	17,5	19,4
150	11,6	12,0	12,6	13,4	14,4	15,6	17,1	18,8

*Taulukko 4. Lähiliikenteen junan (Flirt) energiankulutus liikennepaikkatiheyden ja keskinopeuden mukaan.*

liikenne- paikkaväli (km)	Kulutus (kWh/km)							
	50 km/h	60 km/h	70 km/h	80 km/h	90 km/h	100km/h	110 km/h	120 km/h
1	8,0	-	-	-	-	-	-	-
2	5,9	6,9	9,5	-	-	-	-	-
3	5,7	6,0	6,8	8,9	-	-	-	-
4	5,6	5,7	6,1	7,0	9,0	-	-	-
5	5,6	5,7	5,9	6,4	7,4	9,5	-	-
10	5,6	5,6	5,6	5,7	5,8	6,1	6,7	-
20	5,5	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,7	5,9
30	5,5	5,5	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6

*Taulukko 5. Sr2-veturin vetämän tavarajunan energiankulutus eri junapainoilla ja keskinopeuksilla.*

junan massa (t)	Kulutus (kWh/km)				
	50 km/h	60 km/h	70 km/h	80 km/h	90 km/h
200	7	7	7	7	8
300	8	8	9	9	10
400	9	10	10	11	12
500	11	11	12	13	14
600	12	13	14	15	17
700	13	14	15	17	19
800	15	16	17	19	21
900	16	17	19	21	23
1000	17	19	20	23	26
1100	18	20	22	25	28
1200	20	22	24	27	30
1300	21	23	26	29	32
1400	23	25	27	31	35
1500	24	26	29	33	37
1600	25	28	31	35	39
1700	27	29	33	37	42
1800	28	31	34	39	44
1900	29	32	36	41	46
2000	31	34	38	43	49
2100	32	36	40	45	51
2200	34	37	42	47	54

*Taulukko 6. Sr2-veturin vetämän tavarajunan ei-kaupallisen pysähdysten aiheuttama energiankulutuksen lisäys eri junapainoilla ja keskinopeuksilla kun kesimääräinen pysähdysväli on 100 km.*

junapaino (t)	Pysähdysten aiheuttama lisäkulutus (kWh)					
	50 km/h	60 km/h	70 km/h	80 km/h	90 km/h	100 km/h
100	2	2	2	2	3	3
200	3	3	3	4	4	4
300	4	4	5	5	5	5
400	5	6	6	7	7	7
500	6	7	7	8	8	7
600	7	8	9	9	9	8
700	8	9	10	10	10	8
800	9	10	11	12	11	9
900	10	11	12	12	11	9
1000	11	12	13	13	11	9
1100	12	14	15	15	13	10
1200	13	16	16	16	18	13
1300	18	21	24	25	22	19
1400	20	24	28	29	28	24
1500	23	28	33	34	33	28
1600	26	31	37	38	37	32
1700	29	35	41	43	41	36
1800	31	38	44	47	45	38
1900	33	42	48	52	49	40
2000	36	45	52	55	52	41
2100	39	48	56	59	56	42

*Taulukko 7. Keskiraskaan 1000 kW dieselveturin vetämän tavarajunan energiankulutus eri junapainoilla ja keskinopeuksilla, kun kesimääräinen pysähdysväli on 100 km.*

junan massa (t)	Kulutus (litraa/km)			
	50 km/h	60 km/h	70 km/h	80 km/h
100	1,2	1,4	1,6	1,7
200	1,6	1,7	1,9	2,1
300	1,9	2,0	2,2	2,5
400	2,2	2,3	2,6	3,0
500	2,5	2,6	3,0	3,5
600	2,9	3,0	3,4	4,1
700	3,2	3,4	3,9	4,8
800	3,5	3,8	4,5	5,5
900	3,9	4,3	5,1	-
1000	4,2	4,7	5,7	-
1100	4,6	5,2	-	-

**Taulukko 8.** Raskaan 2000 kW dieselveturin vetämän tavarajunan energiankulutus eri junapainoilla ja keskinopeuksilla, kun kesimääräinen pysähdysväli on 100 km.

junan massa (t)	Kulutus (litraa/km)			
	50 km/h	60 km/h	70 km/h	80 km/h
100	2,1	2,3	2,5	2,7
200	2,3	2,5	2,7	3,0
300	2,6	2,8	3,0	3,3
400	2,9	3,0	3,3	3,7
500	3,1	3,3	3,6	4,1
600	3,4	3,6	3,9	4,5
700	3,6	3,9	4,3	4,9
800	3,9	4,2	4,6	5,3
900	4,2	4,5	5,0	5,8
1000	4,5	4,8	5,4	-
1100	4,7	5,1	5,8	-
1200	5,0	5,4	6,2	-
1300	5,3	5,8	6,6	-
1400	5,6	6,1	-	-
1500	5,9	6,5	-	-
1600	6,2	6,8	-	-
1700	6,5	7,2	-	-
1800	6,8	7,6	-	-
1900	7,1	7,9	-	-
2000	7,4	-	-	-

**Taulukko 9.** Raskaan 3000 kW dieselveturin vetämän tavarajunan energiankulutus eri junapainoilla ja keskinopeuksilla, kun kesimääräinen pysähdysväli on 100 km.

junan massa (t)	Kulutus (litraa/km)			
	50 km/h	60 km/h	70 km/h	80 km/h
100	2,7	2,6	2,7	3,0
200	3,0	2,9	3,0	3,3
300	3,2	3,2	3,3	3,7
400	3,5	3,5	3,6	4,0
500	3,7	3,7	4,0	4,4
600	4,0	4,0	4,3	4,8
700	4,2	4,3	4,6	5,1
800	4,5	4,6	5,0	5,5
900	4,8	4,9	5,3	5,9
1000	5,0	5,2	5,6	6,4
1100	5,3	5,5	6,0	6,8
1200	5,6	5,8	6,3	7,2
1300	5,8	6,1	6,7	7,6
1400	6,1	6,4	7,1	8,1
1500	6,4	6,7	7,4	-
1600	6,6	7,0	7,8	-
1700	6,9	7,3	8,2	-
1800	7,2	7,6	-	-
1900	7,5	8,0	-	-
2000	7,8	8,3	-	-



